



EVALUACION DE SUSTRATOS DE FIBRA DE MADERA DE PINO FRENTE A SUSTRATOS CONVENCIONALES EN CULTIVO HIDROPONICO DE TOMATE

Presentado por

MIKEL FERNÁNDEZ PÉREZ

Aurkestua

Para la obtención del título

Tituluaren eskurapenrako

**INGENIERO TÉCNICO AGRÍCOLA EN EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS
NEKAZARITZAKO INGENIARI TEKNIKO NEKAZARITZA ETA ABELTZAINZA
USTIAPENAK BEREZITASUNA**

Pamplona, Octubre 2010

RESUMEN

El deterioro progresivo del suelo de los invernaderos y de las zonas de producción hortícola en general, debido a problemas de agotamiento, contaminación fúngica, salinización, etc.í , cada vez más extendidos, obliga a los agricultores a optar por el cultivo hidropónico como solución a dichos problemas. A su vez, frente a las preocupaciones medioambientales existentes hoy en día, se plantea cada vez más el uso de residuos o subproductos de industrias para su uso como sustratos. Uno de estos sustratos es la fibra de madera, material susceptible de ser usado como medio de cultivo por su excelente capacidad de aireación, bajo costo e impacto medioambiental.

En este trabajo se estudian diferentes tipos de sustratos de fibra de madera Fibralur provenientes de los residuos de una industria maderera en cultivo hidropónico de tomate. Se evalúan las diferencias en producción y calidad del tomate, las alteraciones de los diferentes sustratos en comparación con sustratos convencionales y si estas alteraciones tienen influencia sobre la producción y calidad del tomate y la degradación sufrida por los sustratos a base de fibra de madera en comparación con sustratos convencionales

El trabajo se realiza en dos invernaderos. Uno de ellos es del ITG agrícola y se localiza en Sartaguda. El segundo es particular y se encuentra en Barasoain. A lo largo de un ciclo de cultivo se ha procedido a analizar diferentes aspectos del cultivo como producción, drenaje o degradación de los sustratos, realizando para ello dos visitas semanales a cada invernadero a lo largo del ciclo de primavera.

INDICE

	6
2. ANTECEDENTES	9
2.1 Los sustratos	9
2.2 Propiedades físicas de los sustratos	10
2.2.1. Granulometría	14
2.2.2. Densidad real	14
2.2.3. Densidad aparente	15
2.2.4. Espacio poroso total (EPT)	15
2.2.5. Relaciones Agua-Aire	15
2.2.5.1.- Capacidad de aireación (CA)	15
2.2.5.2. Agua Fácilmente Disponible (AFD)	16
2.2.5.3. Agua de Reserva (AR)	16
2.2.6. Mojabilidad	17
2.2.7. Contracción de volumen	18
2.3 Propiedades químicas de los sustratos	18
2.3.1 pH	18
2.3.2 Salinidad y conductividad eléctrica (CE)	19
2.3.3. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	20
2.3.4. Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)	20
2.3.5 Disponibilidad de nutrientes	20
2.4 Propiedades biológicas de los sustratos	21
2.4.1. Velocidad de descomposición	21
2.4.2. Productos de descomposición	21
2.4.3. Actividad reguladora del crecimiento	22
2.5 Sustratos utilizados comúnmente	22
2.5.1 Turba	23
2.5.2. Lana de roca	24
2.5.3. Perlita	24
2.5.4 Arena	25
2.5.5. Vermiculita	25
2.6 Sustratos alternativos	26
2.6.1. Algunos sustratos alternativos	27



[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Upgrade to PDF Complete.	eriales inorgánicos	27
Upgrade to PDF Complete.	eriales orgánicos	28
2.6.2	Sustratos a base de fibra de madera	29
2.6.3	FIBRALUR y FIBRALUR desfibrado en seco (FDS)	30
3.	OBJETIVOS	32
4.	MATERIAL Y MÉTODOS	33
4.1	Evaluación agronómica de los sustratos	33
4.1.1	Ensayo en Sartaguda	33
4.1.2	Ensayo en Barasoain	35
4.1.3	Controles durante el ciclo	37
4.1.3.1	Drenajes	37
4.1.3.2	Producción	38
4.1.3.3	Calidad	39
4.1.4.	Análisis estadísticos	39
4.2	Evaluación de las propiedades físicas de los sustratos	39
4.2.1	Densidad aparente	40
4.2.2	Densidad Real	40
4.2.3	Contenido en materia orgánica	41
4.2.4	Espacio poroso total (EPT)	42
4.2.5	Curva de liberación de agua	42
4.2.6	Pérdida de materia orgánica	42
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
5.1	Evaluación agronómica de los sustratos en Sartaguda	44
5.1.1	Control de drenajes	44
5.1.1.1	Porcentaje de volumen	44
5.1.1.2	pH	45
5.1.1.3	Conductividad eléctrica (CE)	46
5.1.1.4	Nutrientes	47
5.1.2	Control de la producción	50
5.1.3	Control de calidad	53
5.2	Evaluación agronómica de los sustratos de Barasoain	53
5.2.1	Control de drenajes	53
5.2.1.1	Porcentaje de volumen	54
5.2.1.2	pH	55



PDF Complete

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

[Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features](#)

5.2.1 Conductividad eléctrica (CE)	56
5.2.2 Control de la producción	57
5.2.3 Control de calidad	60
5.3 Evaluación de las propiedades de los sustratos	64
5.3.1 Resultados tras el ciclo de cultivo	65
5.3.1.1 Propiedades físicas	65
5.3.1.2 Pérdida de materia orgánica	66
5.3.2 Resultados evolutivos tras cuatro ciclos de cultivo	67
5.3.2.1 Contenido en materia orgánica (MO)	67
5.3.2.2 Curvas de liberación de agua	69
6. CONCLUSIONES	71
7. BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	77

INTRODUCCIÓN

El deterioro progresivo del suelo de los invernaderos y de las zonas de producción hortícola en general, debido a problemas de agotamiento, contaminación fúngica, salinización, etc., cada vez más extendidos, obliga a los agricultores a optar por el cultivo hidropónico como solución a dichos problemas. Por otra parte, actualmente resulta imprescindible la implantación de técnicas que nos lleven a una economización de los cada vez más escasos recursos hídricos. La técnica de cultivo hidropónico, dada su elevada tecnificación, permite consumir únicamente el agua necesaria, minimizando todo tipo de pérdidas y aportando solamente la cantidad del preciado elemento que las plantas estrictamente necesitan, ello unido a la mayor productividad y calidad logradas mediante el uso de esta técnica, al tener perfectamente controladas las variables de cultivo, permite la obtención de una mayor cantidad de producto con el mínimo consumo de agua y fertilizantes.

Hay que reseñar que comercialmente la totalidad de los sistemas de cultivo hidropónico en regiones templadas son protegidos para posibilitar un control de temperaturas, reducir las pérdidas de agua por evaporación, minimizar los ataques de plagas y proteger a los cultivos contra las inclemencias del tiempo como la lluvia, el granizo o el viento. La elevada tecnificación que exige la implantación de técnicas hidropónicas implica una inversión económica bastante considerable, para que exista rentabilidad, los cultivos deben mantener una producción, calidad y precio de mercado elevados. Frecuentemente la demostrada mejora de productividad y calidad de las cosechas bajo cultivo hidropónico frente al tradicional cultivo en suelo, no justifican las costosas instalaciones necesarias para esta técnica a no ser que los precios de mercado sean altos.

Cualquier tipo de hortaliza es susceptible de ser cultivada en hidroponía en mayor o menor medida. De este modo, las condiciones agroclimáticas disponibles (calidad del agua de riego, microclima, época de cultivo, etc.) junto a los canales de comercialización hortícolas existentes en la zona, son los que determinan los cultivos a implantar.

aceptación entre los cultivadores de hidroponía, las siguientes hortalizas: tomate, pepino holandés, melón tipo Galia, pimiento, judía de enrame, berenjena, sandía, calabacín, melón tipo español, etc. Cada uno de estos cultivos tiene unos cuidados culturales y unas exigencias medioambientales y nutricionales específicas, aunque existen formulaciones de soluciones nutritivas con las que la mayoría de los cultivos vegetan adecuadamente, el fin que se persigue (obtención de un rendimiento lo más cercano posible al potencial del cultivo), hace que para cada plantación y según las características agroclimáticas de la misma se efectúe una nutrición hídrica y mineral a medida.

El tomate es el fruto de la tomatera, planta de origen americano. En concreto, se considera oriundo de Ecuador, Perú y la zona norte de Chile. Su introducción en Europa tuvo lugar desde México. En un principio, la aceptación del tomate en Europa fue muy escasa porque se relacionaba con algunas especies de plantas venenosas. A medida que esta idea fue desapareciendo, el consumo de tomate comenzó a aumentar hasta hacerse muy popular en el siglo XVIII, época en la que se produjo la aparición de la salsa de tomate. No fue hasta el siglo XX cuando su cultivo se extendió por todo el mundo.

El tomate es la especie hortícola comercializada en Europa y más concretamente en la zona mediterránea, que mayor nivel de producción, distribución y consumo presenta, en gran parte debido a la cantidad de centros públicos y privados que realizan investigaciones cuyo fin es el de mejorar aspectos agronómicos y organolépticos para que con ello adquieran mayor importancia económica y social.

El tomate es un producto fundamental en el seno de la horticultura española que ocupa en torno al 15% de la superficie del cultivo nacional y aporta cerca de un 25% del valor de la producción en el sector. La utilización que se da al producto obtenido es en un 70% al consumo en fresco y el 30% restante se destina a la industria, siendo un gran porcentaje de ambos exportado a distintas naciones.

Hay diversas zonas dedicadas al cultivo del tomate en la península ibérica dependiendo del uso que se le quiera dar. Así, las regiones del sureste peninsular, como Valencia, Alicante, Murcia y Almería, son las que más orientadas están a la producción de tomate



PDF
Complete

*Your complimentary
use period has ended.
Thank you for using
PDF Complete.*

[Click Here to upgrade to
Unlimited Pages and Expanded Features](#)

Ebro comprendida por Navarra, La Rioja y Zaragoza,
edicadas a la producción de tomate para industria.

2.1 LOS SUSTRATOS

Un sustrato en Horticultura es todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural o de síntesis, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir activamente o no en el proceso de la nutrición vegetal (Abad *et al.*, 2004).

El desarrollo de los sustratos hortícolas tiene su origen en el cultivo en contenedor. Desde que se introdujo el cultivo en contenedor, se planteó la necesidad de un cambio conceptual con respecto al cultivo tradicional en suelo, apareciendo los sustratos, en sus distintas variantes, para sustituir al suelo natural (Burés, 1997). Según Abad *et al.* (2004), las principales razones de la sustitución del suelo por sustratos han sido:

- La necesidad de transportar las plantas de un lugar a otro.
- La existencia de factores limitantes para los cultivos intensivos en suelo natural, principalmente salinización, enfermedades, agotamiento de los mismos, etc.
- La intensificación cultural que facilita el cultivo en sustrato al permitir un control riguroso del medio radical, particularmente de aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes.

Las técnicas de cultivo con sustratos tienen diferentes aplicaciones (Abad, 1991). Dentro de la producción comercial hortícola los sustratos se utilizan en:

Cultivo de semilleros y plantas en maceta

Entre los diferentes materiales empleados en la formulación de los medios de cultivo en semilleros y plantas en maceta, las turbas *Sphagnum* han sido los más importantes y más utilizados durante muchos años. Sin embargo, se ha emprendido una activa

s y/o sustitutivos de estas turbas en numerosas partes
razones:

- 1) El elevado precio de la turba hortícola de calidad, particularmente en países sin recursos locales de turba *Sphagnum*.
- 2) Su cuestionable disponibilidad futura por motivos ecológicos, ya que las reservas de turba no son renovables.

Esto ha conducido a la utilización de materiales orgánicos alternativos de la turba, autóctonos y con disponibilidad local. Algunos ejemplos de ello son los trabajos realizados con diferentes materiales alternativos en cultivo de plantas ornamentales en contenedor (Ingelmo *et al.*, 1997; Offord *et al.*, 1998; Abad *et al.*, 2002) o en semilleros hortícolas (Benoit y Ceustermans, 1990; Shinohara *et al.*, 1999; Ball *et al.*, 2000; Ozores-Hampton *et al.*, 1999).

Estos materiales alternativos no se suelen utilizar solos como sustitutos de la turba, ya que raramente un material reúne por sí solo las características requeridas para unas determinadas condiciones de cultivo. En la mayoría de los casos, se recurre a mezclas con varios materiales.

Producción de planta forestal

Las técnicas de producción de planta forestal para repoblación en contenedor utilizando sustratos artificiales son relativamente recientes. El cultivo de planta forestal en contenedor utilizando un sustrato artificial, requiere toda una serie de características, de especificidades, que de alguna manera lo diferencian del cultivo de plantales hortícolas o plantas ornamentales. De inicio la forma, el tamaño y el volumen de los contenedores son totalmente diferentes (Nadal, 1998).

El objetivo primordial del viverista forestal es el de obtener una planta con un sistema radical fibroso y compacto que asegure al máximo el éxito en la repoblación. Es muy importante que el sustrato facilite la formación de un cepellón, de un taco consistente, ya que de no ser así se desmoronaría en el momento de ser extraída la planta del contenedor y peligraría el éxito de la plantación. Todo esto hace que la utilización de sustratos en la producción de planta forestal presente sus propias especificaciones.

presentar una adecuada aireación, elevada capacidad de retención de agua, así como una alta capacidad de intercambio catiónico y, además, debe permitir formar un cepellón o un taco compacto para facilitar la extracción y plantación. Esto es muy importante en el caso de encinas y robles, ya que presentan un sistema radical que sujeta bastante mal el cepellón. En este caso la única solución es utilizar un sustrato lo más fibroso posible (Richard *et al.*, 1969).

Entre los componentes orgánicos más utilizados en viveros forestales están la turba rubia y la corteza de pino; entre los componentes inorgánicos la perlita y la vermiculita. Los materiales inorgánicos se añaden al medio de cultivo con la finalidad de producir y mantener un sistema estructural de macroporos que mejore la aireación y el drenaje, aunque disminuyan relativamente la capacidad de retención de agua (Nadal, 1998).

Cultivo hidropónico de hortalizas

En lo que se refiere a los cultivos sin suelo, el área total de estos cultivos en el Sudeste español (principal zona de utilización de estos sustratos en España) se estima en unas 4000-4500 ha (Urrestarazu y Salas, 2002), aproximadamente la mitad de ella corresponde a lana de roca y el resto a perlita, arena, fibra de coco y otros sistemas de menor superficie.

El cultivo hidropónico tiene una serie de inconvenientes relacionados con el medio ambiente debido a:

- 1- Lixiviación de elementos fertilizantes, especialmente en sistemas abiertos.
- 2- Vertido de los residuos de sustratos y los materiales de desecho.
- 3- Emisión de productos fitosanitarios.
- 4- Emisión de gases y consumo extra de energía, como consecuencia de la calefacción, la desinfección, etc.

Como ejemplo la cantidad de residuo que genera una hectárea de tomate sin suelo es de 60 m³ de plántulas de lana de roca, 12 m³ de cubos de lana de roca, 2000 m³ de solución nutritiva y 5 toneladas de plástico (Benoit y Ceustermans, 1995b).

Los materiales utilizados como sustratos es uno de los minerales transformados o tratados industrialmente (lana de roca y perlita) presentan problemas graves de eliminación de sus residuos, al no ser biodegradables. Por tanto, a la hora de elegir un material como sustrato es importante tener en cuenta el aspecto medioambiental, teniendo en cuenta su durabilidad y su capacidad para ser reciclado posteriormente (Abad y Noguera, 2000).

Los problemas ambientales han obligado a la búsqueda de nuevos materiales alternativos o sustitutivos, menos agresivos con el medio ambiente, muchos de los cuales son residuos orgánicos compostados, en forma pura o en mezcla, tales como: corteza de árboles, fibra de coco, cáscara de almendra, virutas de la madera, etc.

Otras aplicaciones

Existen otras aplicaciones quizá menos conocidas como por ejemplo la utilización de sustratos como òtierra de coberturaö para los sacos de producción de champiñón. Los productores de champiñón utilizan diversos tipos de sustratos para cubrir la parte superior de los sacos (3-4 cm) que contienen el compost de paja de trigo (12-15 kg de peso fresco) inoculado con micelio de champiñón. Las funciones de esta capa son la limpieza del fruto y la de proporcionar aireación al compost.

En las champiñoneras de La Rioja y Navarra (donde se produce la mitad del champiñón nacional) actualmente se utiliza una técnica medioambiental negativa consistente en elaborar una tierra de cobertura compuesta por una mezcla de sustrato (normalmente turba) y piedra caliza machacada (õgravillinö) para mejorar la aireación. El resultado final de este manejo es que los sacos agotados de champiñón deben ser llevados a vertedero ya que el entorno agrícola no acepta el reciclaje de este material debido a la presencia del incómodo õgravillinö. El hecho medioambientalmente alcanza unas magnitudes muy serias ya que, en Navarra y La Rioja, anualmente se generan 215000 t (Irigoyen *et al.*, 2002) de un material que, sin la presencia del õgravillinö, podría ser reciclado sin ningún problema en agricultura ya que está formado por compost de paja de trigo, micelio de champiñón y el sustrato de cobertura. Este hecho se refleja en el estudio realizado por Benito *et al.* (2005) en el que mezclas basadas en sacos agotados de champiñón, parecen ser el medio más adecuado para el crecimiento de las especies

El grave problema medioambiental es prioritario a nivel

A la hora de preparar y utilizar un sustrato deben considerarse diferentes factores agronómicos (Abad *et al.*, 2004). Es importante tener en cuenta:

- Finalidad del sustrato: según sea destinado a un semillero, para crecimiento y desarrollo de plantas de cierto porte o a hidroponía.
- Climatología: Es diferente un medio ambiente con elevada temperatura y déficit de saturación, o un ambiente opuesto. Las producciones al aire libre o en invernadero tienen exigencias diferentes.
- Especie cultivada: Dependerá de las exigencias específicas de cada una y será el medio ambiente natural de origen el que determine las características óptimas del sustrato.
- Método de riego: según se trate de riegos muy frecuentes, frecuentes o esporádicos, se requieren sustratos muy diferentes.

Asimismo, se deben abordar otros aspectos. Desde el punto de vista económico, el precio de los sustratos es particularmente elevado en los materiales cuyos depósitos naturales o reservas se encuentran a gran distancia de los centros de consumo. Muy relacionado con esto es la inestabilidad del suministro de estos sustratos, cuyo abastecimiento depende del exterior.

Otro de los problemas importantes de los sustratos es la homogeneidad; con materiales como turbas, corteza de pino, orujo de uva, mantillo de bosque, etc., el origen del material es distinto cada vez y por tanto, el producto también cada vez es distinto. Un ejemplo es la variabilidad en las propiedades químicas y físico-químicas de la fibra de coco procedente de diferentes fuentes, debida a diferencias en el fruto, proceso de fabricación y periodo de almacenaje (Abad *et al.*, 2002).

Uno de los problemas que en los últimos años ha adquirido gran importancia es el problema medioambiental. Los sustratos inorgánicos artificiales, ocasionan un serio problema ya que no son degradables y tampoco pueden incorporarse al terreno. En lo que se refiere a los sustratos orgánicos que se utilizan, especialmente la turba, estas reservas son limitadas, no renovables, son un sumidero del CO₂ atmosférico y, consecuentemente, su uso indiscriminado provoca un impacto medioambiental de

00). Ello provoca que se estén buscando sustratos de
variables (Adams, 1991).

2.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUSTRATOS

Las propiedades físicas de los sustratos son un aspecto muy importante ya que una vez que está colocado en el contenedor y la planta creciendo en él, es prácticamente imposible modificar dichas características.

2.2.1. GRANULOMETRÍA

Muchos sustratos están compuestos por una mezcla de partículas de diferentes tamaños y, en función de la distribución del tamaño de esas partículas varían las propiedades físicas del sustrato. Por tanto, el estudio de la distribución de partículas es un aspecto importante en la caracterización de los sustratos.

El tamaño de las partículas afecta al crecimiento a través de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido de agua y aire del sustrato a cualquier nivel de humedad. Para mantener una buena aireación en el sustrato es recomendable que las partículas tengan un tamaño entre 0,5 y 1 mm (Raviv *et al.*, 1986).

La distribución del tamaño de partículas suele expresarse por medio del parámetro denominado *Índice de Grosor*. Se define como el porcentaje acumulado (en peso o volumen) de partículas con diámetro superior a 1mm y suele estar correlacionado con las características hidrofísicas del sustrato (Noguera, 2000).

2.2.2 DENSIDAD REAL

También denominada densidad absoluta. Se refiere a la densidad media de las partículas del sustrato sin incluir el espacio poroso, o lo que es lo mismo, la relación entre el peso de una partícula del sustrato y el volumen que ocupa. Su valor se expresa en g/cm^3 (Martínez y García, 1993).

La densidad aparente se define como la relación entre la masa de material sólido seco (a 105°C) y el volumen que ocupa, en unas condiciones determinadas, incluyendo el espacio poroso entre las partículas. Esta propiedad se expresa en g cm^{-3} o en g L^{-1} (Martínez, 1992).

2.2.4. ESPACIO POROSO TOTAL (EPT)

El espacio poroso total se define como el volumen total del sustrato no ocupado por partículas orgánicas o minerales. Es la relación entre el volumen de poros y el volumen aparente del sustrato, expresado como porcentaje en volumen (Martínez, 1992). Su nivel óptimo para cultivos hortícolas se sitúa por encima del 85% (De Boodt y Verdonck, 1972).

Los poros presentes en el sustrato pueden ser poros capilares ($\varnothing < 30 \mu\text{m}$), que retienen el agua, o poros no capilares o macroporos ($\varnothing > 30 \mu\text{m}$), que se vacían al drenar el sustrato. Asimismo, la porosidad puede ser intraparticular, que son los poros que se encuentran en el interior de las partículas, o porosidad interparticular, referida a aquellos poros existentes entre las diferentes partículas del sustrato. En el caso de la porosidad intraparticular, el comportamiento de los fluidos será diferente si dicha porosidad es abierta, con comunicación entre poros, o cerrada, sin comunicación. En caso de porosidad cerrada, estos poros internos no influirán en la distribución de agua y aire en el sustrato. Por tanto es importante conocer la relación entre la fracción de porosidad que proporciona el agua y la que proporciona la aireación.

2.2.5. RELACIONES AGUA-AIRE

2.2.5.1.- Capacidad de aireación (CA)

Se define como la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que este haya sido saturado con agua y dejado drenar, normalmente a 10 cm de tensión de columna de agua. El nivel óptimo oscila entre el 20-30% del volumen (Abad *et al.*, 2004).

lo mismo ocurre con los microorganismos presentes en el sustrato. El oxígeno pasa a las raíces por difusión a través de la lámina de agua que las rodea y la velocidad de difusión del oxígeno en agua es 10^4 veces menor que en el aire, por lo que el espesor de la lámina es muy importante. Debido a esto, la distribución del tamaño de los poros es clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos.

Asimismo, la altura del contenedor tiene también un efecto sobre el contenido en aire del sustrato. A mayor profundidad de contenedor, mayor será el contenido en aire. Este fenómeno se debe a la acumulación de agua en el fondo del contenedor. Si se utilizan contenedores poco profundos es preferible la utilización de sustratos de textura gruesa que mantengan una mejor aireación (Raviv *et al.*, 1986).

2.2.5.2. Agua Fácilmente Disponible (AFD)

Se define como la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a 10 cm de tensión, y el volumen de agua presente en el mismo tras ser sometidos a una succión de 50 cm de columna de agua. El valor óptimo oscila entre el 20-30% (Abad *et al.*, 2004).

Cuando un sustrato presenta una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible puede deberse a:

- Una porosidad total baja.
- Los poros son muy grandes y gran parte del agua se pierde por drenaje.
- Los poros son muy pequeños y la planta no puede extraer el agua.
- Una combinación de situaciones anteriores (Bunt, 1988).

2.2.5.3. Agua de Reserva (AR)

Es la cantidad de agua que libera el sustrato al pasar de 50 a 100 cm de tensión de columna de agua. El nivel óptimo está entre el 4 y 19% del volumen (Abad *et al.*, 2004).

establecido por De Boodt y Verdonck (1972) en una *Ficus*. A esta tensión muchos cultivos restringen su crecimiento, el agua comienza a ser un factor limitante (Martínez, 1992).

En el caso de plantas ornamentales no es recomendable que la tensión supere los 100 cm, aunque en el caso de plantas hortícolas pueden alcanzarse tensiones de 300 cm de columna de agua, sin afectar significativamente el crecimiento vegetal (Martínez, 2004).

Se define como agua total disponible (ATD) a la suma del agua fácilmente disponible (AFD) y al agua de reserva (AR) y su nivel óptimo se sitúa entre 24 y 40% del volumen del sustrato. También se define como agua difícilmente disponible (ADD) al agua retenida a una tensión de 100 cm de columna de agua.

Estos valores de retención de agua se obtienen a partir del % en volumen de aire y agua a 10, 50 y 100 cm de tensión de columna de agua. A partir de estos también se puede obtener la curva de liberación de agua de un sustrato. Un ejemplo de dicha curva es la figura 1.

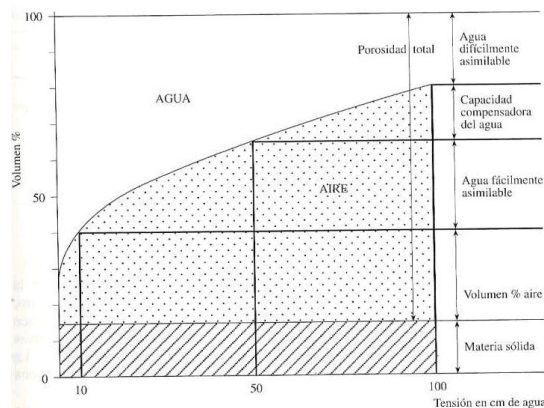


Figura 1. Curva de liberación de agua de un sustrato de cultivo.

2.2.6. MOJABILIDAD

Se expresa como el tiempo necesario para que un sustrato absorba 10 ml de agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Abad *et al.*, 2004).

Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca, generalmente a 105°C, referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (saturación y posterior drenaje a 10 cm de columna de agua).

La contracción del volumen lleva a la compactación del sustrato, compresión de las raíces, disminución de la eficacia del riego y la fertilización. Su nivel óptimo se sitúa por debajo del 30% (Abad *et al.*, 2004).

2.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUSTRATOS

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del sustrato. Al contrario de las propiedades físicas, las químicas pueden ser corregidas o modificadas mediante un manejo adecuado del fertirriego. Los materiales orgánicos, contribuyen a la química de los sustratos debido a la formación y presencia de sustancias húmicas que son el principal producto final de la descomposición de los materiales orgánicos (Raviv *et al.*, 1986).

2.3.1 PH

Aunque la mayoría de las plantas pueden sobrevivir con amplios márgenes de pH en el sustrato, su calidad varía si este se aleja de los valores óptimos por lo que es importante que el sustrato presente el pH adecuado (Burés, 1997). Valores de pH entre 5,5 y 6,8 en la solución del sustrato se consideran el óptimo para el cultivo hidropónico de hortalizas (Mazuela, 2005).

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Abad *et al.*, 2004). La asimilabilidad de los nutrientes se ve muy afectada por el pH. Entre 5 y 6,5 la mayoría de los nutrientes están en su máximo nivel de asimilabilidad, pero con valores por debajo de 5 pueden aparecer deficiencias de N, K, Ca o Mg, mientras

disminuir la asimilabilidad del Fe, P, Mn, B o Zn.

Problemas de fitotoxicidad por óxidos metálicos si el pH baja de 5 debido a que aumente su solubilidad. Por tanto es importante tener en cuenta el pH y realizar un ajuste del mismo si este está fuera del intervalo recomendado.

2.3.2 SALINIDAD Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La conductividad eléctrica se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Un contenido elevado de sales en el sustrato puede causar problemas debido a toxicidad por algunos elementos que se hallen en cantidades excesivas, o por aumento del potencial osmótico que causa dificultades en la planta para obtener agua. Este efecto resulta más marcado en verano cuando las tasas de transpiración son más elevadas. La salinidad puede aumentar una vez que el sustrato está en el contenedor bien por la presencia de fertilizantes insolubles, bien porque la cantidad de sales que se aportan con el agua de riego sea superior a la absorbida por la planta, o bien cuando el sustrato tiene una elevada CIC y se va descomponiendo con el tiempo liberando así nutrientes. Estas situaciones pueden prevenirse conociendo las necesidades requeridas por el cultivo y evitando aplicaciones excesivas de abonos.

El aumento de la salinidad puede ser prevenido o corregido por medio de una lixiviación controlada con agua de buena calidad, aunque existen otras estrategias como mantener permanentemente húmedo el sustrato, no aplicar fertilizantes en polvo cuando el medio esté seco, reducir el estrés de las plantas por medio de sombreado, o incrementando la humedad relativa del ambiente.

Bunt (1988) establece unos niveles de salinidad medida como conductividad eléctrica dSm^{-1} en el extracto de saturación:

- $<0,74$: muy bajo.
- $0,75-1,99$: apropiado para la germinación de semillas y crecimiento de plántulas.
- $2,00-3,50$: satisfactorio para la mayoría de las plantas.

oría de las plantas.

2.3.3. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad de un sustrato de adsorber e intercambiar iones (Burés, 1997). Se define como la suma de los cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso o volumen del sustrato. Estos cationes quedan retenidos frente al efecto lixivante del agua y están disponibles para la planta. Esta propiedad se expresa en miliequivalentes por 100gr de sustrato o por litro de sustrato.

La capacidad de intercambio catiónico se ve influida por el pH, cuanto más alto es el pH mayor es la CIC. El valor óptimo de esta propiedad va a depender de la frecuencia del fertirriego. Si la fertirrigación es permanente, la capacidad de adsorción de cationes no representa una ventaja, por lo que se recomienda el uso de materiales inertes o con baja-nula CIC. Por el contrario si la fertirrigación es intermitente, los sustratos con media-elevada CIC suponen una ventaja, ya que representan un depósito de reserva de nutrientes y ofrecen una capacidad tampón frente a cambios en la disponibilidad de nutrientes y en el pH.

2.3.4. RELACIÓN CARBONO-NITRÓGENO (C/N)

La relación C/N suele usarse como indicador del origen, del grado de madurez y de la estabilidad de la materia orgánica ya que su valor depende del material y disminuye con la fermentación de la materia orgánica. Una relación C/N inferior a 20 se considera como indicadora de madurez y estabilidad (Burés, 1997).

Si se cultiva sobre materiales inmaduros, pueden aparecer problemas debido a inmovilización del nitrógeno o a una baja disponibilidad de oxígeno en la rizosfera, todo ello debido a la actividad microbiana (Abad *et al.*, 2004).

2.3.5 DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES

Dentro de los sustratos orgánicos existen marcadas diferencias en cuanto al contenido de nutrientes asimilables. En todo caso, para un óptimo crecimiento de las plantas es

por medio de fertilizantes. La cuantía y frecuencia de características del sustrato, CIC, y del régimen de

riego.

2.4 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS SUSTRATOS.

2.4.1. VELOCIDAD DE DESCOMPOSICIÓN

Todos los sustratos orgánicos son susceptibles de descomposición biológica, que además se ve favorecida por las condiciones ambientales que se dan en los invernaderos. Esta degradación microbiana puede finalizar en deficiencias de oxígeno y nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Por tanto es importante tomar precauciones para minimizar los efectos de la descomposición sobre las plantas (Raviv *et al.*, 1986).

La velocidad de descomposición está condicionada por la disponibilidad de elementos biodegradables, como carbohidratos, ácidos grasos o proteínas, por lo que ésta puede reducirse por medio del compostaje o manteniendo niveles suficientes de nitrógeno asimilable. También es importante tener en cuenta la duración del cultivo ya que cuanto más largo sea, será más recomendable el uso de sustratos estables como la corteza de tamaño grueso (Raviv *et al.*, 1986).

2.4.2. PRODUCTOS DE DESCOMPOSICIÓN

En el caso de la lignina y la celulosa, sus principales productos de descomposición son los ácidos húmicos y fúlvicos (Raviv *et al.*, 1986). Estas sustancias afectan positivamente a diferentes funciones vegetales y además, las sustancias húmicas pueden actuar como transportadores de micronutrientes para las plantas.

Otro efecto de los productos de descomposición es el que se observó en el caso del residuo de fibra de corcho, el cual presenta un alto contenido en sustancias fenólicas libres que causaron efectos alelopáticos a las plantas hortícolas y ornamentales en las que fue ensayado (Martinez, 2004).

Se ha observado la presencia de sustancias auxínicas en extractos de materiales orgánicos utilizados como sustratos de cultivo. Esta actividad se ha atribuido a un efecto sinérgico entre las auxinas naturales o exógenas y los compuestos fenólicos presentes en los sustratos como consecuencia de la degradación de compuestos orgánicos como la lignina (Raviv *et al.*, 1986).

Asimismo, también se han observado propiedades supresivas en algunos sustratos. Esta propiedad, dificulta o inhibe el crecimiento de determinados fitopatógenos, especialmente hongos. Se ha observado en materiales orgánicos comportados como las cortezas de árboles, en las que se ve supresividad frente a enfermedades inducidas por *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia* o *Phytm*. Este efecto de la corteza se debe principalmente a la microflora presente en el composta resultante (Hoitink *et al.*, 1997; McKellar y Nelson, 2003; Yu y Komada, 1999).

2.5 SUSTRATOS UTILIZADOS COMÚNMENTE

Los sustratos pueden clasificarse en función de diferentes criterios. La clasificación presentada por Abad *et al.*, 2004 pretende recoger las diferencias más relevantes desde el punto de vista de su utilización hortícola:

- Materiales orgánicos
 - De origen natural: se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas)
 - De síntesis: polímeros orgánicos no biodegradables obtenidos por síntesis química.
 - Residuos o subproductos de actividades de producción y consumo: normalmente necesitan previamente un proceso de compostaje.
- Materiales inorgánicos
 - De origen natural: a partir de rocas minerales de diverso origen.
 - Transformados o tratados industrialmente: se obtienen a partir de rocas modificadas por tratamientos físicos.

industriales: materiales procedentes de diferentes

Existen numerosos materiales que pueden ser utilizados con éxito como sustratos, bien en forma pura o en mezcla. A continuación se describen algunos de los sustratos utilizados comúnmente.

2.5.1 TURBA

Según Strasburger *et al.* (1994), las turbas están formadas por depósitos de restos de musgos y otras plantas superiores que se hallan en proceso de carbonización lenta, sin contacto con oxígeno, por lo que conservan su estructura anatómica a lo largo del tiempo.

Las turberas pueden formarse en diferentes ecosistemas dando lugar a diferentes turbas con diversas propiedades hortícolas:

- Turberas bajas o eutróficas: dan lugar a las turbas eutróficas o negras. Son turbas fuertemente descompuestas y con propiedades poco favorables para el cultivo en contenedor aunque, tras un proceso de curado pueden utilizarse satisfactoriamente.
- Turberas altas u oligotróficas: formadas en zonas frías, con alta precipitación y humedad relativa en las que solo pueden establecerse especies poco exigentes como los musgos *Sphagnum*. En función del grado de descomposición del perfil de estas turberas se pueden encontrar:
 - Turbas rubias, ligeramente descompuestas, que mantienen la estructura y con excelentes propiedades para su utilización como sustratos.
 - Turbas negras, fuertemente descompuestas, de menor calidad ya que prácticamente han perdido toda su estructura.

Existen también las llamadas turberas de transición, con características intermedias a las dos anteriores.

en los medios de cultivo en contenedor gracias a sus
presentan un efecto estimulador en el desarrollo
vegetal atribuido a compuestos activadores del crecimiento.

Por otra parte, las turbas presentan un problema importante ya que sus reservas son limitadas y no renovables por lo que su uso indiscriminado puede causar un importante impacto ambiental. Asimismo, al tratarse de un material natural presenta otra desventaja, su homogeneidad no está asegurada.

2.5.2. LANA DE ROCA

Se trata de un producto mineral transformado industrialmente. Es una mezcla de rocas basálticas que se funden a 1600 °C y posteriormente se lanzan sobre unas ruedas giratorias en donde se solidifica en forma de fibras. Durante este proceso se añaden aditivos para darle estabilidad y capacidad para absorber o repeler el agua. El producto final puede aparecer en forma granular, bloques o planchas de cultivo (Burés, 1997).

La lana de roca fue descubierta en Dinamarca alrededor de 1965 y su principal aplicación es la construcción, como aislante térmico y acústico.

La principal desventaja de este material es su eliminación ya que supone un grave problema medioambiental.

2.5.3. PERLITA

Es un silicato de aluminio de origen volcánico. Se trata de rocas vítreas formadas por enfriamiento rápido que dan lugar a un material amorfo con un 2-5% de agua combinada (Abad *et al.*, 2004). Este material es tratado industrialmente con altas temperaturas de forma que el agua combinada se evapora rápidamente haciendo que el material se expanda dando un producto final de baja densidad.

Tiene una superficie rugosa y una estructura celular cerrada, de forma que el agua solo es retenida en la superficie y en los poros interparticulares. Por esto, como sustrato, se trata de un material muy aireante y con poca capacidad de retención de agua.

e, no susceptible de descomposición. Sin embargo, es frágil mecánicamente y se rompe con facilidad lo que puede suponer un inconveniente porque puede favorecer condiciones de anegamiento.

2.5.4 ARENA

Material de naturaleza silíceo y composición variable. Puede proceder de canteras, ríos o ramblas. En el caso de los dos primeros son materiales más homogéneos y constituidos por partículas angulosas, en cambio en el caso de las ramblas, el material es más heterogéneo y formado por partículas redondeadas.

Sus características físicas dependen básicamente de su granulometría, debido a la ausencia de poros intraparticulares y químicamente se considera inerte.

Para su uso como sustrato el material debe estar libre de limos y arcillas para evitar que estos materiales sean arrastrados por el riego y se almacenen en la base del saco afectando negativamente a las características hidrofísicas. Asimismo, debe estar libre de carbonato cálcico ya que este puede causar un aumento del pH del medio que podría provocar desórdenes nutricionales.

El cultivo de plantas hortícolas en arena está decreciendo rápidamente en España. Aunque actualmente su disponibilidad es buena, se podría pensar que en un futuro esto sea un problema debido al impacto ambiental que causa su extracción (Abad *et al.*, 2004). Por otra parte su peso supone también una desventaja ya que su transporte a largas distancias no es económico (Burés, 1997).

2.5.5. VERMICULITA

Es un silicato hidratado de magnesio, aluminio y hierro, con estructura trilaminar y moléculas de agua entre sus láminas. Este material se transforma industrialmente a altas temperaturas haciendo que el agua se evapore rápidamente y provoque la expansión laminar lo que da al material una estructura porosa y esponjosa.

ilar al de la perlita pero sus propiedades químicas son
ilar a la de materiales orgánicos.

Asimismo, tiene potasio y magnesio asimilables por las plantas. Por tanto es un material activo químicamente.

Su principal inconveniente es que se comprime fácilmente lo que hace que se colapse y disgregue perdiendo su estructura y variando sus propiedades físicas.

2.6 SUSTRATOS ALTERNATIVOS

La expansión de los cultivos sin suelo tiene como consecuencia un aumento de la demanda de los materiales que son usados como sustratos, lo cual supone una sobreexplotación de recursos naturales no renovables, como las turbas. La preocupación por el medio ambiente, nos lleva a la búsqueda de nuevos materiales que cumplan una serie de requisitos, como son la durabilidad, el impacto ambiental mínimo para su obtención, procesado y utilización, y la ausencia de problemas para su eliminación después de su uso. (Verdonk, 1983; Abad *et al.*, 2000; Slas *et al.*, 2000). Además de esto, en cada zona de cultivo se buscan materiales que puedan producirse en lugares próximos evitando así desplazamientos que encarecen los sustratos y ponen en duda su suministro. De esta manera el sustrato en cuestión podrá ser usado con mayor rentabilidad económica y medioambiental (Urrestarazu *et al.*, 2005a).

El número de materiales que pueden ser utilizados como sustratos es muy amplio. Es frecuente que se recurra a mezclas de distintos materiales para obtener características apropiadas para el cultivo. Así, muchos materiales que no pueden utilizarse solos, por no tener características adecuadas, encuentran una aplicación como sustratos de cultivo. Se entiende por sustratos alternativos a un grupo de sustratos orgánicos biodegradables que da utilidad a residuos de otra actividad industrial. En la actualidad se hacen grandes esfuerzos por potenciar y desarrollar comercialmente los sustratos alternativos porque son más adecuados medioambientalmente hablando. Son menos agresivos con el medio ambiente y solucionan el problema de reciclado de residuos. Sin embargo hay que señalar que la mayoría de los materiales procedentes de residuos requieren un proceso

Para que un sustrato sea utilizado se atiende a diferentes criterios que anteriormente se han citado como son: su disponibilidad, manejo, fitotoxicidad, uniformidad, coste, etc. Sin embargo, un factor determinante para que un sustrato se considere apto para el cultivo es que haya sido suficientemente estudiado y contrastado. A razón de esto, son muchos los estudios realizados que han intentado caracterizar nuevos sustratos. A continuación se presentan algunos de estos sustratos alternativos, susceptibles de ser usados como medio de cultivo.

Son cuatro los requisitos que debiera tener un sustrato para ser considerado alternativo, agrícolamente viable y económicamente rentable. Los requerimientos son que sea biodegradable, la disponibilidad, el fácil manejo y la durabilidad (Urrestarazu *et al.*, 2005b).

2.6.1.ALGUNOS SUSTRATOS ALTERNATIVOS

2.6.1.1. Materiales inorgánicos

Poliuretano reciclado (PUR): Se obtiene por adición de un agente espumante, que homogeniza y cohesiona, a recortes de espuma que se trituran y comprimen hasta obtener la densidad adecuada. El resultado del proceso son planchas que pueden cortarse a la medida deseada y se utilizan como sustitutivos de la lana roca. Es un material de larga duración, pudiendo durar unos 5 años en cultivo, y que se puede esterilizar con vapor. Además es un material reciclable y también puede ser quemado. La densidad del material es de 80 kg de materia seca por m³. Tiene gran capacidad de aireación, superior a la de la lana de roca, pero retiene menos agua, por lo que el riego debe ser más frecuente. Se comercializa bajo el nombre de AGROFOAM y fue caracterizado por Benoit y Ceustermans (1990).

Cenizas y estériles de carbón: Son restos procedentes de explotaciones mineras que en función del tratamiento que se les dé (lavado, combustión, etc.) presentan diferentes calidades. Las cenizas procedentes de la combustión son materiales que se mezclan con

ando la capacidad de retención de la mezcla final. Para además de aumentar la retención de agua se disminuye la cantidad de material principal a utilizar. Se han realizado estudios en ornamentales y en hortícolas como el tomate, obteniendo buenos resultados (Menzies y Atkien, 1996).

2.6.1.2 Materiales orgánicos

Residuos urbanos e industriales (lodos de depuradora): Necesitan de procesos de deshidratación y estabilización ya que su contenido en materia orgánica es muy variable según la procedencia de los lodos. Un factor muy importante a tener en cuenta es el contenido de metales pesados ya que pueden resultar en problemas de fitotoxicidad. Los lodos con bajo contenido en metales pesados se han usado con éxito en plantas ornamentales de temporada y para plantas hortícolas comestibles pueden utilizarse para fases de plantel (Burés, 1997).

Orujo de uva: Formado por semillas, raspones y piel de las uvas procedente de la industria alcoholera. Necesita de compostaje y sus propiedades varían en función de la variedad de uva, del tratamiento previo y del contenido de cada elemento que lo forma. Presenta buena capacidad de aireación, suficiente agua fácilmente disponible, y elevada capacidad de intercambio catiónico. Se ha utilizado como sustrato mezclado con estiércol que mejora su capacidad de retención de agua (Burés y Martínez, 1983).

Restos de cultivos: Igualmente se ha considerado el uso de compost de restos de cultivo como sustrato. Este tipo de compost resulta ser una alternativa aceptable y ecológicamente viable frente a la lana de roca y la fibra de coco para el cultivo de melón (Mazuela *et al.*, 2005). Mazuela *et al.* (2005) afirman que este compost con un apropiado tratamiento previo de lavado, puede usarse sin causar pérdidas de producción.

Restos vegetales sin compostar: Como la cáscara de almendras, cascarillas de arroz, corteza de pino, fibra de coco, etc. En diversos estudios se ha comprobado su validez como sustratos tanto para plantas ornamentales como para hortícolas. Por lo general son materiales pobres en nutrientes y con media-baja capacidad de intercambio catiónico

2.6.2 SUSTRATOS A BASE DE FIBRA DE MADERA

En el estudio de materiales que puedan funcionar como sustratos y que cumplan los requisitos para ser considerados como alternativos se abre la posibilidad de utilizar un nuevo recurso como es la fibra de madera. El uso de este recurso encuentra sus orígenes en Francia, donde en la década de los 80 se desarrolló un material a base de fibra de madera con el nombre de Hortofibre. Para su obtención se sometió la madera de especies de pino, tales como *Pinus pinaster* o *Pinus sylvestris*, a procesos térmicos y físicos sin aditivos químicos. Las virutas de madera pasan un procesado a base de vapor y fricción a altas temperaturas (150° C) dando como resultado final fibras de madera (Lemaire *et al.*, 1989). El proceso de fabricación permite obtener fibras de diferente grosor dependiendo de la compresión a la que sean sometidas, y en función de esta compresión el producto final tendrá diferentes características físicas (Benoit y Ceustermans, 1995). Se trata de un material con elevada capacidad de aireación, baja densidad aparente, pH ligeramente ácido, CIC y CE bajas. Su capacidad de retención de agua depende de las fibras, pero aumenta con el tiempo en todos los casos (Lemaire *et al.*, 1989).

Más adelante Rivière y Milhau (1984) advirtieron sobre la posibilidad de problemas de fitotoxicidad que presentan este tipo de materiales lignocelulósicos, así como el fuerte potencial de inmovilización de nitrógeno que muestran si no se les aplica un proceso previo de compostaje.

La empresa suiza INTERTORESA desarrolló posteriormente otro sustrato a base de fibra de madera. Este se compone de astillas de madera de *Picea* trituradas con corteza. Gruda y Schnitzler (2004) caracterizaron este sustrato como bueno para el cultivo y alternativo a la turba. Aun así, por su naturaleza lignocelulósica también presentó problemas de inmovilización de nitrógeno ya que los microorganismos utilizan el N presente en el sustrato haciendo que no esté disponible para las plantas. Para solucionar este problema se planteó la adición de fertilizantes nitrogenados al cultivo o impregnar las fibras con nitrógeno durante su fabricación. Por otro lado para solucionar el problema de pérdida de volumen que dificultaba la penetración de las raíces se planteó comprimir el material y

2.6.3 FIBRALUR Y FIBRALUR DESFIBRADO EN SECO (FDS)

La empresa Navarra ARALUR S.L. fabrica desde hace algunos años un sustrato orgánico a base de fibra de madera llamado FIBRALUR. Este sustrato procedente del desfibrado de un subproducto forestal procedente de las serrerías, consistente en los costales que quedan al serrar los tablones. En el proceso de producción, la fibra es lavada y sometida a altas temperaturas (90-115°C) por lo que el resultante es un producto natural, renovable, higienizado y estabilizado. Al realizar el desfibrado en seco se obtiene una variante del producto denominado FIBRALUR desfibrado en seco o FDS.

Se han realizado estudios en el norte y sur de la península para la evaluación agronómica de este sustrato. En estos se ha evaluado en comparación con fibra de coco y perlita en cultivos de tomate y melón en hidropónico y también como sustrato para el cultivo de champiñón. De dichos estudios se concluyó que no había diferencias significativas al comparar la producción obtenida con FIBRALUR y los sustratos convencionales. Tampoco se observaron diferencias en cuanto a la calidad de los frutos, consumo hídrico ni vertido de iones a los drenajes. Además de esto se constató que no presenta problemas tras su uso reiterado y es suficientemente estable para garantizar al menos en cuatro ciclos las condiciones idóneas de cultivo (Muro *et al.*, 2005; Urrestarazu *et al.*, 2005a).

Ventajas e inconvenientes de FIBRALUR

De acuerdo con los estudios anteriores se pueden citar como ventajas:

- Es un material reciclable que, tras su uso, puede ser usado como enmienda al suelo y que procede de subproductos industriales dando salida a un residuo de la industria maderera.
- Es económicamente viable puesto que se genera localmente y no hay necesidad de importarlo de terceros países.

químicas son estables en el tiempo y repetibles, numerosos cultivos y poder usarse durante varias campañas sin afectar a la producción ni a la calidad.

- El material es higiénico y libre de patógenos, de fácil manejo tanto en el transporte como en la manipulación, pues es un sustrato liviano.
- Ha sido utilizado en diversos ensayos de producción de hortalizas con muy buenos resultados.

Como inconveniente hay que mencionar que al envejecer presenta pérdida de volumen visible a partir del segundo ciclo, aunque mantiene su capacidad de aireación. Esto llevo consigo una pérdida de consistencia del saco, lo cual le da un aspecto poco atractivo que intenta mejorarse con adhesivos resistentes a la humedad (Muro *et al.*, 2005). Además de esto, hay que tener especial cuidado en el lugar donde se hace el drenaje y donde se ubican los goteros de riego respecto al drenaje ya que se debe evitar que la solución nutritiva percole sin ser aprovechada. Esto es muy importante ya que la altura del sustrato es menor que la de una tabla de lana de roca o un saco de perlita y hay que asegurarse de que el saco tenga las condiciones de humedad adecuadas para que las raíces colonicen el mayor volumen de sustrato posible. (Urrestarazu *et al.*, 2005b).

3. OBJETIVOS

GENERAL

Comparar los diferentes sustratos a base de fibra de madera entre ellos y con sustratos convencionales (perlita y fibra de coco) en cultivo hidropónico de tomate.

ESPECÍFICOS

- Analizar las diferencias que presentan en producción y calidad del tomate entre FIBRALUR, FDS (granulados, con o sin adhesivos), FIBRALUR sin granular, perlita y fibra de coco.
- Observar las alteraciones de las propiedades de los diferentes tipos de sustratos de fibra de madera tras un ciclo de cultivo y compararlas con los sustratos convencionales. También se comprobará si dichas alteraciones tienen influencia sobre producción y calidad del tomate.
- Evaluar la degradación sufrida por los sustratos a base de fibra de madera en comparación con los sustratos convencionales tras cuatro ciclos de cultivo, así como la evolución de dicha degradación.

MATERIAL Y MÉTODOS

En estudios anteriores a este trabajo se llevaron a cabo diferentes ensayos para analizar diferentes variantes de FIBRALUR y FIBRALUR desfibrado en seco o FDS. Para ello se estudiaron los siguientes aspectos:

- Índice de caída de Nitrógeno (N.D.I), para determinar si los microorganismos presentes en el sustrato eran responsables de la inmovilización de dicho elemento.
- Elección de materiales adhesivos para otorgar la estructura adecuada al material en cuestión.

Una vez dados estos pasos se pudieron seleccionar y caracterizar diferentes sustratos cuyo estudio previo puso los fundamentos para la realización de este trabajo.

Los sustratos seleccionados, y por lo tanto objetos de estudio, fueron:

- FIBRALUR
- FIBRALUR 0%, granulado
- FIBRALUR + KYMENE 5%
- FIBRALUR desfibrado en seco 0%, granulado
- FIBRALUR desfibrado en seco + KYMENE 5%
- Fibra de coco
- Perlita

4.1 EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS SUSTRATOS

4.1.1 ENSAYO EN SARTAGUDA

En un invernadero de cultivo hidropónico de tomate (cv. Jack) situado en la finca experimental del ITG Agrícola en Sartaguda se desarrolló esta parte del trabajo. Se colocaron 56 sacos de cultivo de 40 L en 4 filas de 14 sacos cada una, como se puede observar en la figura 2. Con los 56 sacos se realizaron 4 repeticiones. Cada repetición consta de dos sacos de cultivo de cada una de las variantes con cuatro plantas cada uno siendo el marco de plantación de 1,6 plantas/m². Además se han colocado sistemas para la recogida de drenajes en un saco de cultivo de cada sustrato.

ocados el 19 de febrero de 2008, su distribución se aprecia en la figura 3, y la plantación se estableció el 10 de febrero de 2009, por lo que este ensayo se corresponde con el tercer ciclo de cultivo realizado en dichos sacos. El ensayo finalizó el 19 de junio de 2009 con la retirada de plantas y sacos de cultivo.

BORDE	BORDE	BORDE	BORDE	
7.I	3.II	1.III	2.IV	
7.I	3.II	1.III	2.IV	
5.I	2.II	3.III	7.IV	
5.I	2.II	3.III	7.IV	
3.I	7.II	2.III	6.IV	
3.I	7.II	2.III	6.IV	
6.I	4.II	7.III	5.IV	
6.I	4.II	7.III	5.IV	
1.I	5.II	6.III	3.IV	
1.I	5.II	6.III	3.IV	
2.I	6.II	4.III	1.IV	
2.I	6.II	4.III	1.IV	
4.I	1.II	5.III	4.IV	
4.I	1.II	5.III	4.IV	
BORDE	BORDE	BORDE	BORDE	

1: FIBRALUR 0% granulado
2: FIBRALUR + 5% KYMENE
3: Fds 0% granulado
4: Fds + 5% KYMENE
5: FIBRALUR
6: Fibra de coco
7: Perlita
I, II, III, IV: Bloques



Sacos con sistema de recogida de drenajes

Figura 2.- Croquis de la distribución de los sacos en el ensayo de Sartaguda.

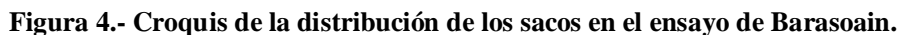


Figura 3.- Vista interior del invernadero de Sartaguda con los sacos preparados para realizar la plantación.

	<i>NO₃</i>	<i>PO₄H₂</i>	<i>SO₄2</i>	<i>CO₃H</i>	<i>CL</i>	<i>NH₄+</i>	<i>K+</i>	<i>CA₂+</i>	<i>MG₂+</i>	<i>PH</i>	<i>CE</i>
Solución de riego	12,5	2,5	2	0,5	1	1,5	6	5	2	5,8	2,5

	NO_3	PO_4H_2	SO_{42}	CO_3H	CL	NH_4+	K+	CA_{2+}	MG_{2+}	PH	CE
Solución de riego	13,5	2,5	2,5	0,5	1	1,5	7,5	6,5	2,5	5,8	3

Esta parte del trabajo se llevó a cabo en un invernadero particular dedicado exclusivamente al cultivo hidropónico de tomate (cv. Jack). Se colocaron 56 sacos de cultivo de 40 L y un metro de longitud cada uno, y fueron distribuidos en 2 filas de 28 sacos como se muestra la Figura 4. En cada saco se pusieron 5 plantas siendo el marco de plantación 2,14 plantas/m². Los sacos se colocaron el 18 de febrero de 2008 y la plantación se estableció el 19 de febrero del 2009, correspondiéndose con el cuarto ciclo de cultivo en los sacos, quedando la plantación distribuida como se observa en la figura 5. El ciclo finalizó el 22 de junio de 2009.



ucción: esta sección constó de 4 repeticiones. En cada repetición hubo dos sacos de cada tipo de sustrato.

- Sección de control con propiedades y pérdida de materia orgánica. Esta sección contuvo 6+2 (estos dos sacos son los últimos que se retiraron y estuvieron dentro de la zona de control de producción) sacos de cada tipo de sustrato.

Además se colocaron sistemas de recogida de drenajes en un saco de cada tipo de sustrato. Para ello se elevaron los sacos, se les dio cierta inclinación y se colocó debajo un recipiente para recoger los drenajes. En estos drenajes se analizó el % de drenaje, pH, CE y nutrientes.



Figura 5. Aspecto de las filas de plantas de tomate en el ensayo de Barasoain al inicio del ciclo de cultivo (24/2/2009).

Las soluciones de riego aplicadas fueron las mismas que para el resto del invernadero y su formulación se observa en las Tablas 3 y 4:

Tabla 3.- Primera formulación del ensayo de Barasoain (datos en mMoles/l y mS/cm para la CE).

	N03-	PO4H2-	SO42-	CO3H	CL-	NH4+	K+	Ca2+	Mg2+	Na+	pH	CE
H2O	0,93	0,07	0,27	5,05	1,95	0	0,03	2,12	0,21	3,78	7,9	0,66
SOLUCIÓN IDEAL	14	2,5	2,5	0,5	1	0,5	6	5	2,5	0		
APORTES	13,07	2,43	2,23	4,55	-0,55	0,5	5,97	2,88	2,29	-3,78		

o del ensayo de Barasoain (datos en mMoles/l y mS/cm

	NO3-	PO4H2-	SO42-	CO3H	CL-	NH4+	K+	Ca2+	Mg2+	Na+	pH	CE
H2O	0,93	0,07	0,27	0,05	1,95	0	0,03	2,12	0,21	3,78	7,9	0,66
SOLUCION IDEAL	15	2,5	3	0,5	1	0,5	7	5,5	2,5	0		
APORTES	14,07	2,43	2,73	4,55	-0,95	0,5	6,57	3,38	2,29	-3,78		

En los dos casos se ajustó el pH a 5,8. La CE se ajustó a 2,5 mS/cm en la primera formulación y a 2,8 para el cuajado.

Además durante este ciclo de cultivo se aplicaron los tratamientos que se observan en la Tabla 5.

Tabla 5.- Tratamientos aplicados durante el ciclo de cultivo en el ensayo de Barasoain.

19/02/09	Tratamiento para mal de cuello con Previcur (3,03 l/ha)
10/03/09	Tratamiento para mal de cuello con Previcur (1,236 l/ha)
13/03/09	Tratamiento para gusanos y orugas con Delfin (0,455 k/ha)

4.1.3 CONTROLES DURANTE EL CICLO

En ambos emplazamientos del ensayo se realizaron los controles que se especifican a continuación.

4.1.3.1 Drenajes

Se realizaron controles dos veces por semana, desde el momento de la plantación, analizándose in situ en cada saco, y en un gotero control, el volumen, el pH (con un pHmetro HI9024C Hanna Instruments) y la CE (con un conductrímeter HI 98312 Hanna Instruments). Asimismo, una vez cada dos semanas se tomaron muestras (100 ml) de cada uno de los drenajes, que se enviaron al Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI) para analizar el contenido en nutrientes (cloro, sodio, calcio, potasio, magnesio, fósforo, sulfatos y nitratos) de cada una de las muestras recogidas.

Dos veces por semana se procedió a la recogida de frutos separando los procedentes de cada saco y separándolos en las categorías establecidas según la norma CE 790/2000, modificada por el reglamento CE 717/2001, en frutos comerciales y no comerciales, según su diámetro. Los frutos se clasificaron por calibres como muestra la Tabla 6. Tras esto, los frutos se contaron y pesaron, y se hicieron las medias entre los sacos correspondientes a cada tratamiento para obtener el peso por m² de cada categoría. Los días de recogida de tomates para cada lugar de desarrollo del ensayo se detallan en la Tabla 7.

Tabla 6.- Clasificación por calibres de tomates según normativa CE 717/2001.

Diámetro (mm)	COMERCIAL				NO COMERCIAL			
	>102	102-82	82-67	67-57	57-47	47-40	40-35	deformados o dañados

Tabla 7.- Días de recogida de frutos en Barasoain y Sartaguda.

	Barasoain	Sartaguda		Barasoain	Sartaguda		Barasoain	Sartaguda
Día 1	28/04/2009	28/04/2009	Día 7	19/05/2009	19/05/2009	Día 13	09/06/2009	09/06/2009
Día 2	30/04/2009	30/04/2009	Día 8	22/05/2009	22/05/2009	Día 14	12/06/2009	12/06/2009
Día 3	04/05/2009	04/05/2009	Día 9	25/05/2009	25/05/2009	Día 15	16/06/2009	16/06/2009
Día 4	08/05/2009	08/05/2009	Día 10	28/05/2009	28/05/2009	Día 16		19/06/2009
Día 5	12/05/2009	12/05/2009	Día 11	02/06/2009	02/06/2009	Día 17	22/06/2009	
Día 6	15/05/2009	15/05/2009	Día 12	05/06/2009	05/06/2009			



Figura 6.- Vista de la recogida de tomates en Sartaguda.

Se realizó mediante el análisis de la acidez, pH y grados Brix (°Brix) en muestras licuadas de los frutos. La medida del ácido cítrico se realizó mediante la neutralización del ácido con una solución decinormal de hidróxido sódico, hasta que el pH llegó a 8,2. Para ello se utilizó el equipo Titroline Easy (SCHOTT). Una vez obtenida la cantidad de NaOH consumido en la valoración se calculó la cantidad de ácido cítrico aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{g/l ácido cítrico} = \text{ml de Na OH} \times 0,64$$

El contenido en sólidos solubles se determinó por refractometría (Hand refractometer ERMA) y se expresa como °Brix.

4.1.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los resultados obtenidos se han analizado con el paquete estadístico SPSS para Windows. Se han realizado análisis de la varianza (ANOVA) para cada control durante el ciclo de cultivo, así como test de Student-Newman-Keuls para vías paramétricas con el fin de contrastar diferencias entre grupos. En ambos casos se ha considerado como nivel de significación $\alpha=0,05$.

4.2 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUSTRATOS

Para analizar las propiedades físicas de los sustratos tras el ciclo de cultivo se llevaron a cabo diferentes pruebas, que se analizaron en el Laboratorio Agrario de Fraisoro (Gipuzkoa), tras tomar muestras del contenido de los sacos. Las pruebas determinaron las siguientes características: densidad aparente, densidad real, contenido en materia orgánica y cenizas, espacio poroso total y curva de liberación de agua. Una última propiedad, la pérdida de materia orgánica sufrida por los sacos tras el ciclo de cultivo fue determinada en la Universidad Pública de Navarra. Esta parte del trabajo sólo se realizó con los sacos de cultivo procedentes del ensayo en Barasoain.

Para calcular este parámetro se siguió el método descrito por De Boodt (1974). Está basado en el cálculo del peso seco de un sustrato contenido en un cilindro de volumen conocido que ha sido previamente sometido a una tensión de 10 cm de c.a. Para ellos se utiliza un sistema de doble anillo de un material resistente a altas temperaturas. El anillo inferior debe tener 415 cm³ con una altura de 5 cm y un diámetro interno de 10cm. Este anillo lleva una malla de nylon en la parte inferior sujetado por medio de un collar extraíble. El anillo superior extraíble tiene las mismas dimensiones que el inferior. Ambos anillos se unen herméticamente por medio de un collar fijo.

Los sustratos se saturan con agua durante 24 horas y se someten a una succión de 10 cm de c.a. durante 48 horas en un lecho de arena. Se extrae la parte superior del anillo y se nivela la muestra a la parte superior del anillo inferior. El anillo inferior lleno de sustrato se pesa y se seca a 105°C hasta que tenga peso constante. La densidad aparente se calcula a partir de esto con la siguiente fórmula:

$$DA = \frac{C - A}{V} \times 1000$$

donde:

DA: Densidad Aparente seca (kg/m³)

C: peso del anillo inferior vacío (g)

A: peso del anillo inferior + muestra seca (g)

V: Volumen del anillo de muestra (cm³)

4.2.2 DENSIDAD REAL

Este parámetro también fue calculado por el método establecido por de Boodt (1974). En este se suponen valores fijos de densidad: para suelos minerales 2,65 g/cm³ (2650 kg/m³), y para suelos orgánicos 1,55g/cm³ (1550 kg/m³). La densidad real se calcula con la fórmula detallada a continuación:

$$R = \frac{100}{\frac{\%MO}{1550} + \frac{\%MM}{2650}}$$

donde:

DR: Densidad Real (kg/m³)

%MO: Contenido en materia orgánica expresada en porcentaje de masa

%MM: Contenido en material mineral, cenizas, expresada en porcentaje de masa

4.2.3 CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA

Para esta determinación se llena una cápsula de sílice fundido o cuarzo, previamente pesada, con 5 g de muestra de sustrato. Se seca en la estufa a 103 °C durante 4 horas, se deja enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesa. La muestra se introduce de nuevo en la estufa y se vuelve a dejar enfriar, repitiendo la operación hasta peso constante. Se anota el peso final de la cápsula y la muestra seca.

Posteriormente se coloca la cápsula en un horno mufla frío y se calienta hasta 450°C. Se mantiene a esta temperatura durante 6 h, se deja enfriar hasta temperatura ambiente en un desecador y se pesa. La muestra se vuelve a introducir en el horno durante 1 h, se deja enfriar y se pesa. Se repite este proceso hasta peso constante. Se anota el peso de la cápsula y la muestra tras la combustión.

A partir de los resultados de los dos pesos se obtiene el contenido en materia orgánica y cenizas

$$MO = \frac{B - C}{B - A} \times 100$$

donde:

A: Peso de la cápsula

B: Peso de la cápsula y la muestra tras el secado

C: Peso de la cápsula y la muestra tras el secado

MO: Contenido en materia orgánica expresado en %

(EPT)

Según la metodología de de Boodt (1974) este parámetro se calcula con los valores densidad aparente y real a través de la fórmula:

$$EPT = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) \times 100$$

4.2.5 CURVA DE LIBERACIÓN DE AGUA

Se determinan los volúmenes de agua y aire retenidos por los sustratos a tensiones de succión de 10, 50 y 100 cm columna de agua (c.a.) por la metodología del ISHS. Se empleó el mismo procedimiento que el usado para calcular la densidad aparente. Primero se llenaron los anillos con sustrato y se saturaron con agua durante 24 h. Tras esto, se colocaron sobre el lecho de arena donde se les aplicó sucesivamente succiones de 10, 50 y 100 cm c.a. durante 48 h. Los dobles anillos se secaron en el lecho de arena y se retiró el superior. La muestra se niveló con el anillo inferior sin llegar a compactar y se pesó. Posteriormente se introdujo en la estufa a 105°C hasta peso constante. Se tuvieron en cuenta los pesos del anillo vacío, el peso del anillo con sustrato equilibrado a las diferentes tensiones, el peso del anillo con sustrato seco, densidad aparente y porosidad para calcular los volúmenes de agua y aire a los diferentes niveles de presión de columna de agua.

A partir de estos datos se obtuvieron los valores de capacidad de aireación (CA), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y la curva de liberación de agua.

4.2.6 PÉRDIDA DE MATERIA ORGÁNICA

Con los mismos sacos retirados para los controles anteriores se realizó el cálculo de pérdida de materia orgánica.

se pesaron los sacos de cultivo y se tomaron muestras
total del saco a partir del porcentaje de humedad de los
mismos. Posteriormente, al finalizar el ciclo se pesaron los sacos retirados y también se
calculó el peso seco total.

Dado que en el caso de la perlita, lo lógico es que no se de una disminución en el contenido
de materia orgánica, sino que por el contrario, se de un aumento debido al aporte de las
raíces, se tomó este peso de las raíces como referencia para los cálculos posteriores.

En el resto de sustratos a partir de la diferencia de pesos inicial y final, y teniendo en cuenta
el aporte de las raíces, se calculó la pérdida de materia orgánica sufrida por cada tipo de
sustrato utilizado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS SUSTRATOS EN SARTAGUDA

5.1.1 CONTROL DE DRENAJES

Se obtienen los resultados de porcentaje de volumen en los drenajes, pH y CE después de recoger las muestras de los drenajes en un saco de cada tipo a estudiar y del gotero control. Igualmente se analizan los datos obtenidos del análisis de iones que contenían los drenajes.

5.1.1.1 Porcentaje de volumen

En la figura 7 se observan los volúmenes obtenidos en los drenajes del ensayo en Sartaguda. En este caso se observa un comportamiento muy similar en todos los sustratos. Al principio del cultivo el porcentaje de volumen drenado es elevado en todos los casos, puesto que el desarrollo radicular de las plantas es pequeño y no son capaces de absorber grandes cantidades de agua. A partir de ahí, el volumen drenado empieza a disminuir llegando en la quinta semana de cultivo a valores en torno al 5-10%, lo cual está por debajo de lo recomendado. Esto puede ser debido al desarrollo de las raíces y de la planta en general, así como a condiciones ambientales extraordinarias que obligan a las plantas a transpirar más y por lo tanto a tomar más solución del sustrato. De ahí en adelante lo normal sería que el volumen de los drenajes se mantuviese en torno al 20 o 30% que sería lo idóneo y que sucede más adelante, pero nos encontramos con picos muy acusados en los que los volúmenes crecen de manera muy acusada. Estos picos pueden estar originados por fallos en el riego, que pudieron hacerse con una frecuencia muy elevada. Los volúmenes altos de las últimas semanas coinciden con el período de floración y fructificación, que tras alcanzar valores del 40-50% descienden de nuevo al rango óptimo de drenaje. Coincidiendo con el final del ciclo los drenajes vuelven a alcanzar porcentajes de volumen elevados ya que las plantas ya no se encuentran en plena producción y no necesitan tanta agua. En la última semana se aprecia un ligero descenso en los volúmenes ya que los riegos son menos frecuentes.

Aunque como ya se ha mencionado todos los sustratos siguen trayectorias similares, se aprecia como FIBRALUR es el sustrato que menos agua retiene junto con FIBRALUR 0% granulado. El resto de los sustratos siguen un patrón parecido al de la perlita, que aun así

coco. De toda la trayectoria de los sustratos se puede ver que la perlita es el sustrato que menos drena durante todo el ciclo por lo que es el que más capacidad de retención de agua presenta.

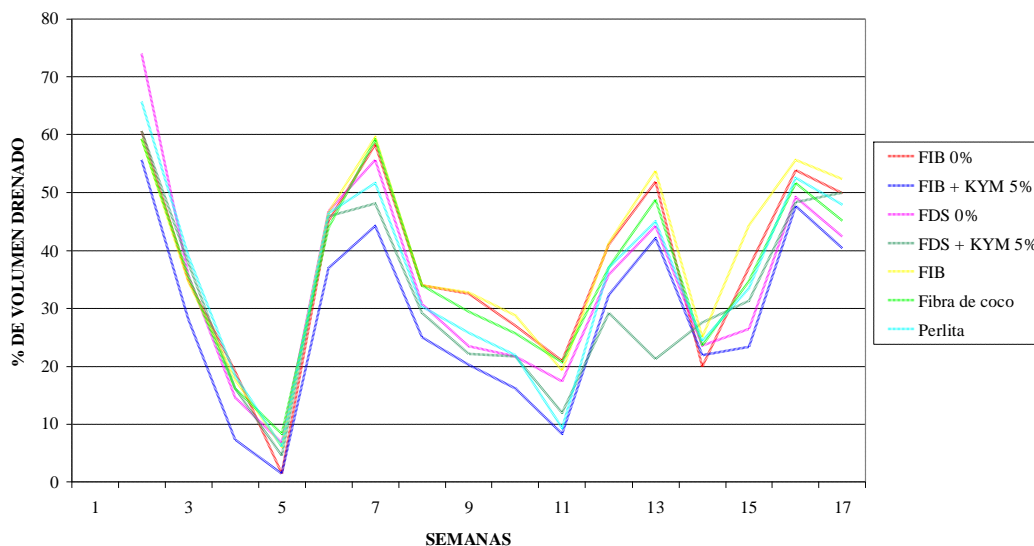


Figura 7.- Porcentaje de volumen recogido en los drenajes en Sartaguda a lo largo del ensayo.

5.1.1.2 pH

En la figura 8 se presentan los valores de pH recogidos en los drenajes. Dado que el pH de la solución de partida era de 5,8 se observa como el drenaje del gotero control más o menos se mantiene en torno a este valor. Lo ideal sería que la solución de riego estuviese entre 0,5 y 1 punto por encima de este valor, lo cual se cumple durante casi todo el ciclo en todos los sustratos. Entre las semanas 4 y 6 de ciclo se observa un pico muy acusado, sobre todo en el sustrato FDS + KYMENE 5% que se alcanzan valores de pH 8,5. Este ascenso en el pH puede deberse a la toma por parte de la planta de NO_3^- en mayor proporción de la esperada tomando también H^+ para no cambiar su pH interno. Estas elevadas subidas en el pH suelen ocurrir en períodos de rápido crecimiento vegetativo (Cánovas, 1995), como es el caso. Sin embargo también se ve como en determinados sustratos como la fibra de coco y más adelante la perlita, el pH desciende por debajo del que tiene el gotero control, pero en ninguno lo hace por debajo del valor de entrada. A excepción del pico inicial ya descrito, todos los sustratos siguen tendencias muy parecidas sin diferencias reseñables, describiendo un pequeño ascenso y por lo tanto basificación del drenaje, debido a que los riegos se efectuaron solo con agua en esta parte del ciclo.

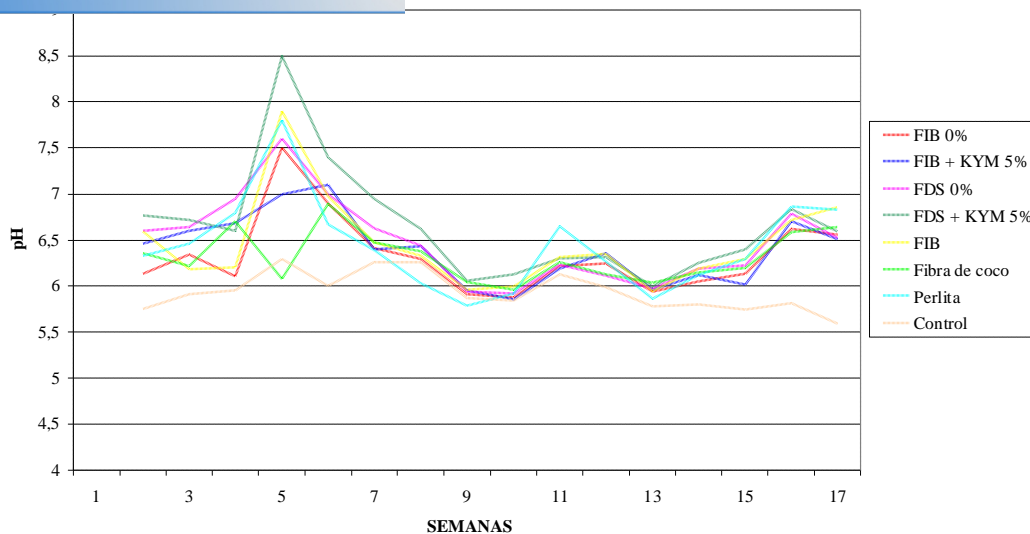


Figura 8.- pH de la solución de los drenajes en Sartaguda a lo largo del ensayo.

5.1.1.3 Conductividad eléctrica (CE)

En la figura 9 se presentan los valores de CE a lo largo del ciclo de cultivo. La solución de partida presentaba una conductividad de 2,5 mS/cm que subió a 3 mS/cm durante la fase de engrosamiento de frutos. El gotero control mantiene más o menos estos valores pero, según lo propuesto por Cánovas (1995), el resto de drenajes deberían presentar valores de 1 mS/cm por encima de los del control, premisa que no se cumple. En las primeras semanas se puede observar un pico en todos los sustratos a excepción de la fibra de coco, en el que la CE asciende hasta valores de 8 mS/cm. Este valor es excesivamente elevado e indica que las sales se van acumulando, además de que el agua con la que se riega en Sartaguda es de elevada CE de por sí. Debido a esta alta CE del agua, durante todo el ciclo los valores para todos los sustratos se mantienen tan elevados, especialmente en el sustrato FIB + KYMENE 5%. Posiblemente el volumen de drenajes no sea el adecuado y esto también esté jugando un papel importante en el valor de la conductividad, junto con el agua de partida. Al final del ciclo se observa una disminución hasta valores óptimos como consecuencia de los riegos solamente con agua. Para próximos ciclos será necesario partir de soluciones de entrada con menor CE para que los drenajes se sitúen dentro de los valores óptimos.

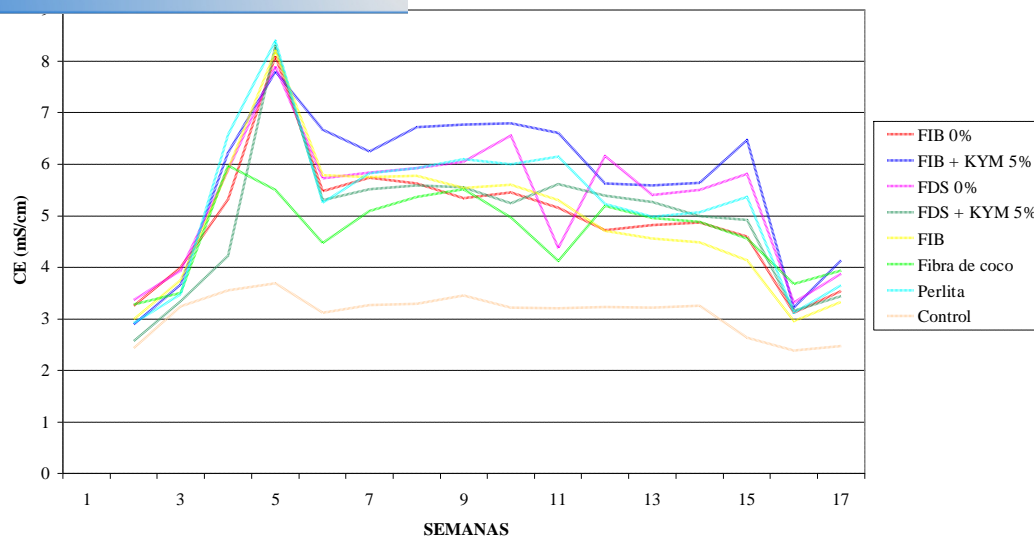


Figura 9.- CE de la solución de los drenajes en Sartaguda a lo largo del ensayo

5.1.1.4 Nutrientes

A continuación, en la figura 10 se muestran en gráficos la evolución de los distintos elementos nutritivos en las soluciones de los drenajes.

Muchos son los factores que hacen variar los contenidos en nutrientes de los drenajes. En este caso de Sartaguda deberían de cumplirse las mismas premisas, aunque se parte de algunas diferencias que atienden sobre todo a la calidad del agua. El agua empleada en Sartaguda es más salina. Según Cánovas (1995) cuanto más salina es un agua más porcentaje de drenaje se necesita para evitar así concentraciones salinas demasiado altas que impidan obtener producciones aceptables.

Como se observa en los gráficos aunque todos los sustratos siguen tendencias más o menos parecidas, presentan líneas paralelas entre ellos, en el análisis de todos los elementos el sustrato FIBRALUR + KYMENE 5% presenta las concentraciones más elevadas, y por lo tanto es el sustrato que menos nutrientes retiene.

El potasio (K) no cumple con la condición de estar en menor proporción que en el control en ningún sustrato ni momento del ciclo. Esto puede deberse a que este elemento se emplea muy por encima de los niveles necesarios para la planta y este consumo de lujo solo se explica por la mejora de calidad del fruto obtenida. FIBRALUR + KYMENE 5% presenta

as del gotero alcanzando valores de 2000 mg/l en algún
ciclo de concentración elevada se repite en todos los
sustratos (hasta en el gotero control), aunque en menor medida. A partir de la cuarta semana
del ciclo los consumos se van equiparando para todos los sustratos siendo a final del ciclo
las concentraciones de los drenajes de todos ellos muy parecidas. El fósforo (P) solo se
mantiene a concentraciones menores que el control en las primeras semanas del ciclo. A
partir de ahí los niveles son muy variables en todos los sustratos siendo el que más retiene
este elemento la perlita y el que menos FIBRALUR + KYMENE 5%.

Los nitratos siguen la tendencia de disminuir en concentración cuando aumenta el pH,
aunque no presentan niveles próximos a los del gotero control. En todos los drenajes se
recogen valores muy elevados en la cuarta semana del ciclo aunque una vez más es
FIBRALUR + KYMENE el que presenta los valores más elevados. El resto de sustratos se
encuentran comprendidos entre los valores que obtienen la perlita y la fibra de coco.

Para el calcio y los sulfatos deberían de obtenerse concentraciones superiores a las de
entrada en un 100-150%, lo cual se cumple para los sulfatos, pero no para el calcio. Aún así,
en ambos casos la concentración del gotero control se mantiene constante durante el ciclo
de cultivo y las de los sustratos de fibra de pino obtienen valores comprendidos entre los
que presentan la fibra de coco y la perlita. FIBRALUR + KYMENE 5% y FDS 0%
granulado no se encuentran dentro de esa media de los sustratos de referencia presentando
concentraciones en ambos elementos al final del ciclo muy superiores a todos los demás.

La concentración de magnesio del control también se mantiene bastante estable durante
todo el ciclo. Los sustratos presentan evoluciones diferentes en la concentración de este
elemento aunque en todo momento FIBRALUR + KYMENE y FDS 0% son los que menos
lo retienen. Al igual que en el caso anterior, el resto de sustratos de fibra de pino se
encuentran a concentraciones intermedias entre fibra de coco y perlita. Los niveles de
magnesio cumplen la premisa esperada (menos para la perlita) y se encuentran a
concentraciones entre el 100 y 300% superiores a la de la solución de entrada.

Por último el cloro y el sodio deberían de encontrarse a concentraciones cuanto más bajas
mejor. En ningún caso se encuentran por debajo de las presentadas por el gotero control y
una vez más es FIBRALUR + KYMENE 5% el que alcanza las concentraciones más altas
para el caso del sodio y cloro, aunque en este último FDS + KYMENE 5% llega a valores

o el primero. Al final del ciclo en ambos casos la perlita
de concentraciones en los que se engloban el resto de
sustratos a base de fibra de pino por lo que las diferencias entre los sustratos de referencia y
los evaluados no son muy importantes a excepción de FIBRALUR + KYMENE que retiene
en menor medida todos los elementos analizados.

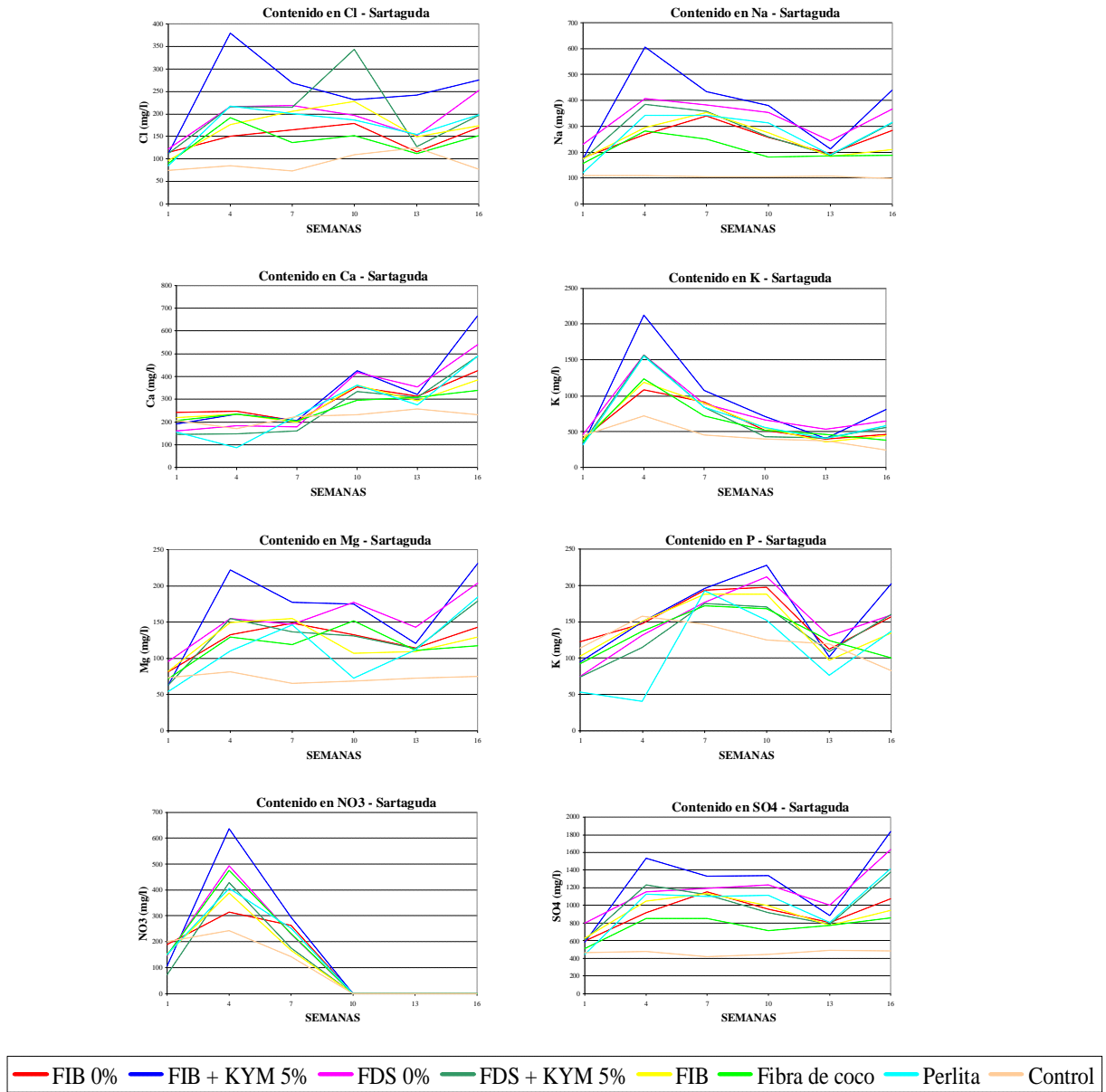


Figura 10. Evolución del contenido en cloro (Cl), sodio (Na), calcio (Ca), potasio (K), fósforo (P), nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}) en los drenajes de Sartaguda.

er análisis de la producción en kilogramos por metro cuadrado obtenidos en cada tratamiento. En función del calibre de los frutos se separa este total en kilogramos comerciales y no comerciales. También se presenta el número de frutos obtenido por metro cuadrado.

Tabla 8.- Producción total de Sartaguda comercial y no comercial en (kg/m²) y número de frutos/m²

	Producción total (Kg/m²)	Producción comercial (kg/m²)		Producción no comercial (kg/m²)		Nº frutos/m²	Frutos comerciales /m²	Frutos no comerciales /m²
FIB 0%	17,067a	16,044 a*	94,01%	1,022 a	5,99%	61,250	55,150 a	6,100 a
FIB + KYM 5%	16,825a	15,781 a	93,79%	1,044 a	6,21%	58,550	53,800 a	4,750 a
FDS 0%	17,623a	16,706 a	94,79%	0,918 a	5,21%	63,050	58,400 a	4,650 a
FDS + KYM 5%	16,682a	15,792 a	94,66%	0,890 a	5,34%	59,150	53,550 a	5,600 a
FIB	16,438a	15,418 a	93,79%	1,020 a	6,21%	62,850	55,500 a	7,350 a
Fibra de coco	16,673a	15,485 a	92,87%	1,188 a	7,13%	65,600	58,550 a	7,050 a
Perlita	18,268a	17,394 a	95,21%	0,875 a	4,79%	65,450	61,000 a	4,450 a

* Los valores en columna con letras diferentes son estadísticamente significativos (P<0,05) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

Observando los datos de la tabla vemos como la mejor producción se consigue con la perlita. Dado que este es uno de los sustratos control, se analizan con más profundidad el resto de las producciones. Aunque las producciones de todos los sustratos son muy parecidas FDS 0% granulado es el sustrato que consigue la producción total más elevada. Asimismo, también es el sustrato que mayor producción comercial en kg/m² consigue y el que menor producción no comercial (5,21%) tiene. Su producción total en frutos por m² es una de las más altas de los sustratos evaluados, por debajo tan solo en un 1,5% de la perlita. FIBRALUR 0% granulado es el segundo sustrato que en comparación con la perlita alcanza la producción más elevada, aunque su producción no comercial no es de las más bajas. FIBRALUR es el sustrato que menos produce y que obtiene junto con FIBRALUR+KYMENE 5% más producción no comercial. Estos valores de producción comercial y no comercial en kg por m² pueden apreciarse en la Figura 11.

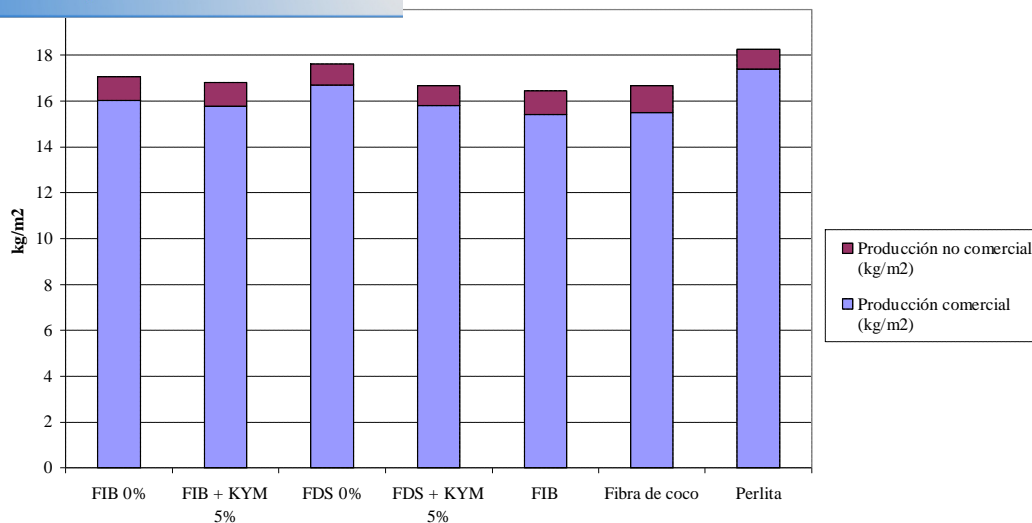


Figura 11.- Producción total comercial o no comercial de cada tipo de sustrato en Sartaguda.

Otro aspecto interesante de analizar es la producción por categorías de frutos que se muestra en la Figura 12. Aunque todos los sustratos presentan una distribución de sus frutos por categorías parecida, FIBRALUR+ KYMENE 5%, FDS + KYMENE 5% y FDS 0% granulado son los sustratos que mayor proporción de frutos de categoría extra producen. El resto de sustratos aunque no producen tanta categoría extra lo ven compensado con frutos de categoría primera. FIBRALUR es el sustrato que en proporción más frutos de calibre pequeño produce (categorías segunda y tercera) y menos de categoría extra. Asimismo, este sustrato también es el que más frutos no comerciales obtiene atendiendo a su mal estado y no a calibre. El sustrato que más frutos no comerciales produce tanto por calibre como por daños es la fibra de coco con casi un 10% de la producción total.

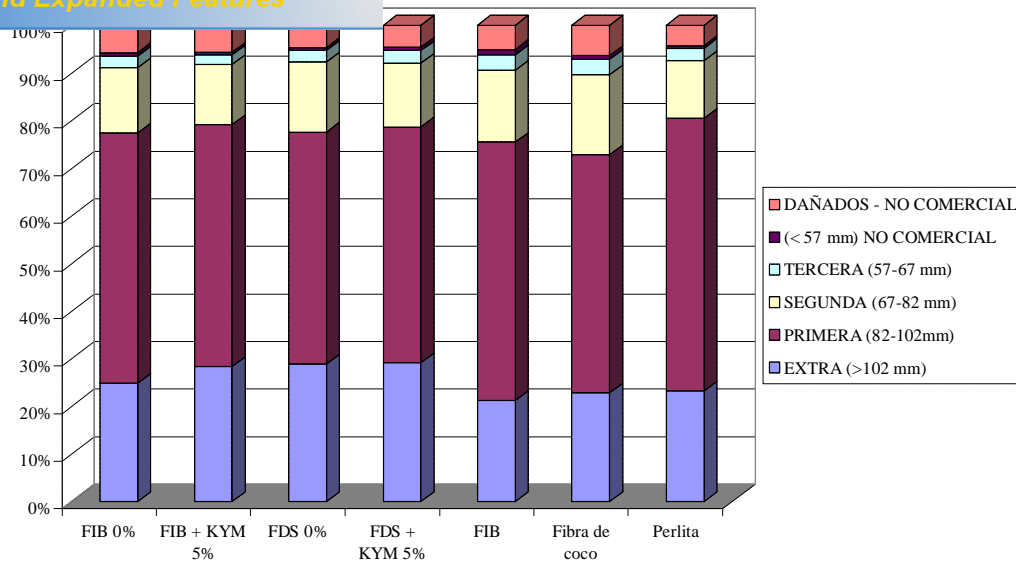


Figura 12.- Producción total de cada tipo de sustrato, por categorías.

Para finalizar el análisis de la producción, la Figura 13 muestra la evolución de la producción a lo largo del tiempo de este tercer ciclo sobre los sustratos en Sartaguda. Se puede decir que no hay diferencias entre sustratos ya que todos siguen una evolución muy parecida. Todos ellos experimentan un crecimiento paulatino de la producción que se acentúa a medida que avanza el ciclo y alcanzando su máximo a principios del mes de junio. Durante la semana siguiente la producción desciende en 1 kg/m^2 hasta el final del ciclo, donde se aprecia un incremento muy acusado debido a la retirada del ensayo y con ello la recogida de todos los frutos presentes en las plantas tanto maduros como verdes.

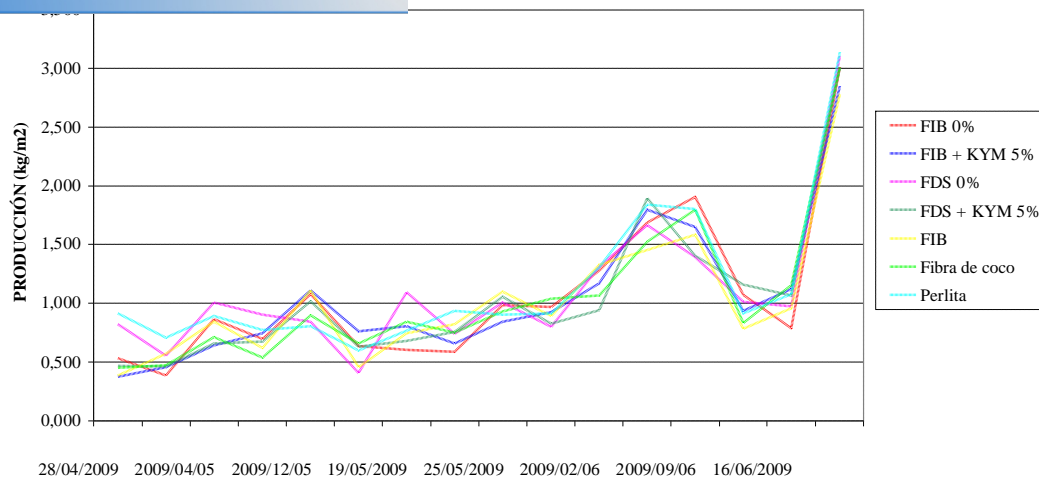


Figura 13.- Evolución de la producción por tipo de sustrato en Sartaguda a lo largo del ensayo.

5.1.3 CONTROL DE CALIDAD

Tal y como se observa en la tabla 9 el análisis de los datos pertenecientes a la calidad de los frutos no muestra diferencias significativas entre sustratos tanto para acidez, como para pH, como para contenido en sólidos solubles o °Brix. Todos los valores se encuentran dentro de los aceptables propuestos por Chamarro (1995) y por lo tanto, los sustratos evaluados son tan aptos para el cultivo como los tradicionales.

Tabla 9.- Valores de parámetros de calidad de frutos en Sartaguda

	Acido cítrico (g/l)	pH	° BRIX
FIB 0%	4,880 a*	4,000 a	4,825 a
FIB + KYM 5%	4,699 a	4,100 a	4,400 a
FDS 0%	4,442 a	4,025 a	4,900 a
FDS + KYM 5%	4,336 a	4,050 a	4,975 a
FIB	4,732 a	4,025 a	4,850 a
Fibra de coco	5,099 a	4,125 a	5,275 a
Perlita	5,112 a	4,025 a	5,100 a

* Los valores en columna con letras diferentes son estadísticamente significativos (P<0,05) según el test de comparaciones múltiples S-N-K

5.2 EVALUACION AGRONOMICA DE LOS SUSTRATOS DE BARASOAIN

5.2.1 CONTROL DE DRENAJES

Tras recoger las muestras de los drenajes en un saco de cada tipo a estudiar y del gotero control que sirvió de referencia, se obtienen los siguientes resultados de porcentaje de

Además de estos resultados se presentan también los cloro, sodio, calcio, potasio, magnesio, fósforo, sulfatos y nitratos) que contenían los drenajes.

5.2.1.1 Porcentaje de volumen

En la figura 14 se observan los volúmenes obtenidos en los drenajes del ensayo en Barasoain. Los valores obtenidos en las primeras semanas son muy irregulares, pudiendo deberse al escaso desarrollo radicular de las plantas que en algunos casos pudo ser mayor que en otros. A medida que avanza el ciclo se puede ver como la mayoría de los sustratos tienen drenajes similares. La perlita y la fibra de coco son los sustratos que presentan menores volúmenes en los drenajes por lo que son los sustratos que mayor capacidad de retención de agua presentan. La media de la perlita se sitúa en torno a 30-35% de volumen drenado, valor adecuado puesto que el riego está ideado para trabajar con este material. La media del resto de sustratos varía en torno al 50%, lo cual indica que la mitad de los riegos efectuados se pierde por los drenajes. Este es un factor a tener en cuenta, puesto que con un sistema de recirculación de drenajes, podrían aprovecharse el agua, y por consiguiente, los nutrientes que se pierden, y así corregir la falta de retención de agua que presentan los sustratos estudiados. En todos los sustratos se puede ver como a medida que avanza el ciclo los volúmenes de los drenajes decrecen, y posteriormente crecen aunque se dan picos durante todo el ciclo. Al final del ciclo, los porcentajes de volumen en los drenajes descienden de forma drástica, debido a que la frecuencia de los riegos es menor y las plantas retienen más agua.

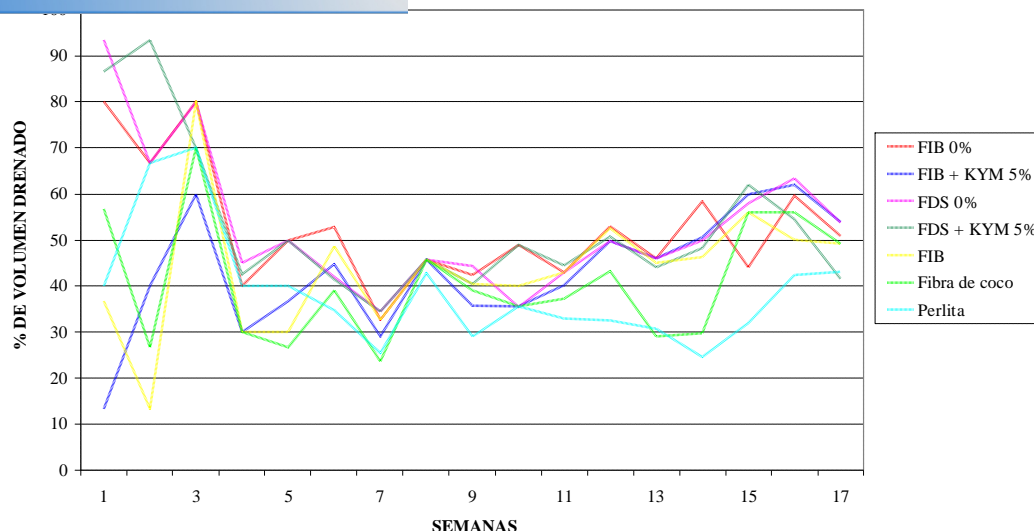


Figura 14.- Porcentaje de volumen recogido en los drenajes en Barasoain a lo largo del ensayo.

5.2.1.2 pH

En la figura 15 se presentan los valores de pH recogidos en los drenajes. Según Cánovas (1995), el pH del drenaje lo encontraremos generalmente a 0,51 punto sobre el de la solución de entrada. Como esta previsto la solución de entrada se acidifica a 5,8 para mantener un pH entre 6-6,5 que es el idóneo. Todos los sustratos, con cambios más o menos acentuados, presentan líneas de tendencia parecidas. Al principio del cultivo se ven valores muy por encima del gotero control y de los valores óptimos. Este incremento es más acentuado en los drenajes procedentes de FIBRALUR y FIBRALUR + KYMENE 5%. Si el pH sube mucho, como es el caso ya que llegamos a valores de 8,5, es que la planta esta tomando NO_3 en mayor proporción que la prevista y para no cambiar su pH interno también absorbe H^+ . De todas formas esto es normal en períodos juveniles de rápido crecimiento. En la segunda mitad del ciclo los valores de pH se mantienen dentro del rango que consideramos adecuado en todos los sustratos. Al final del ciclo se observa una basificación de la solución debido a que en estos últimos días el riego se realiza sólo con agua ya que se va a dejar de recolectar.

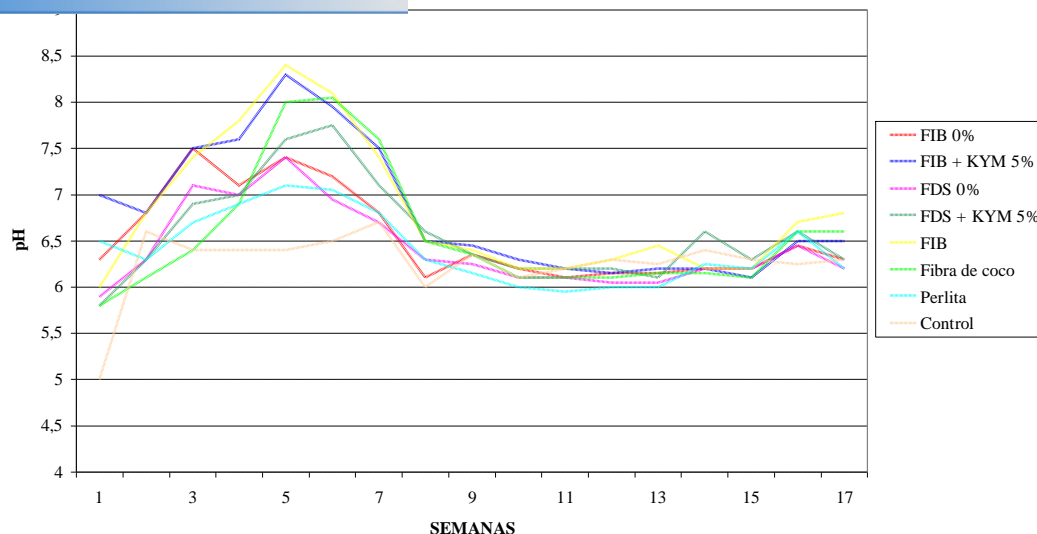


Figura 15.- pH de la solución de los drenajes en Barasoain a lo largo del ensayo.

5.2.1.3 Conductividad eléctrica (CE)

En la figura 16 se presentan los valores de CE a lo largo del ciclo de cultivo. Los valores iniciales de conductividad eléctrica tanto para los sustratos como para el gotero control son muy confusos, no siguiendo ningún patrón ni paralelismo entre ellos. En la mayoría de los drenajes se observa al principio del ciclo una elevada conductividad que desciende drásticamente. Este puede deberse a que en los goteros o en los tubos por los que circula la solución quedarán restos de sales de riegos anteriores. La conductividad de la solución aportada se ajustó en principio a 2,5 mS/cm, como se ve en la línea de gotero, y durante el cuajado se ajustó a 2,8 mS/cm. Según Cánovas (1995), la CE del drenaje debe estar entre 0-5 y 1 mS/cm por encima de la entrada, o más si el agua es muy salina. En todos los drenajes se recogen valores de CE que no exceden esos valores permitidos, siendo la perlita la que alcanza valores de conductividad más elevados. Hacia el final del ciclo vemos como sustratos como FIBRALUR principalmente, y en menor grado, FIBRALUR + KYMENE 5% y FDS + KYMENE %, presentan picos en los que la conductividad desciende incluso por debajo de la del gotero control. Esto puede deberse a que en momentos puntuales la planta consume mas abono del previsto y por lo tanto se debería de aumentar la CE de la solución (Cánovas, 1995).

Al final del ciclo se observa un descenso acusado de la conductividad, quedando en la mayoría de casos por debajo de la del goteo control. Esto se debe a que al final del ciclo los

con agua y al igual que el pH la CE también se ve



Figura 16.- CE de la solución de los drenajes en Barasoain a lo largo del ensayo.

5.2.1.4 Nutrientes

En la figura 17 se muestran los valores obtenidos de las concentraciones en mg/l de diferentes nutrientes en los drenajes de cada tipo de sustrato.

El equilibrio y la concentración de la solución que se aporta no es el mismo que se encuentra en los drenajes, ya que las concentraciones de absorción son distintas a las de aporte y modifican la solución recogida en los drenajes. Algunos elementos disminuyen en concentración (P, K, Mn) y otros aumentan (Ca, S, Fe, Zn, Mg, Cl y Na), mientras que el N permanece próximo a los valores de entrada en su forma nítrica y prácticamente desaparece en la amoniacal. Como puede verse en la Figura 17 para todos los elementos nutritivos estudiados se cumplen en mayor o menor medida las pautas propuestas por Cánovas (1995).

El estadio de la planta y las condiciones climáticas son los factores que más influyen en las variaciones de las tasas de absorción. Así en la primera parte del ciclo del tomate predomina la fase vegetativa de rápido crecimiento y el consumo de nitrógeno es muy alto. Con la entrada en fructificación el consumo de nitrógeno descende y aumenta el de potasio para llegar a un equilibrio sostenido a partir del comienzo de la recolección. La radiación

agua y nutrientes hasta un nivel máximo de saturación, a la transpiración y por tanto el consumo de agua que crece a mayor ritmo que el de nutrientes. Por esto en este ciclo de primavera ó verano las soluciones son más diluidas que si fuese un ciclo de invierno.

Todos los sustratos siguen evoluciones muy parecidas no muy distantes a las de perlita y fibra de coco que sirven de referencia. En ocasiones se dan pequeños desajustes o incongruencias en las concentraciones recogidas en los drenajes que no encuentran una explicación química, pues son debidos a problemas radicales o factores ambientales (temperaturas principalmente) que dificultan la absorción de elementos que se encuentran en la solución en dosis correctas. Cánovas (1995) propone que si todo se desarrolla correctamente, en los análisis de los drenajes debemos encontrar las siguientes desviaciones en las concentraciones con respecto a la solución de entrada, que está determinada por la solución aportada por el gotero control.

Potasio y fósforo deberán presentar una concentración reducida entre 50 y 100% respecto a la entrante. En el caso del fósforo esto se cumple durante las primeras semanas del ciclo siendo en la segunda mitad del mismo casi igual la concentración obtenida del gotero control. Todos los sustratos siguen esta tendencia aunque en las primeras fases del ciclo es FIBRALUR + KYMENE 5% el sustrato que menores concentraciones emite al drenaje. El potasio presenta inicialmente niveles muy altos en los drenajes cumpliendo la reducción prevista y coincidiendo con la entrada en fructificación. A partir de la recolección se consume menos potasio llegando a estabilizarse su consumo en las últimas semanas. Los consumos en los sustratos a base de fibra de pino son mayores que en la fibra de coco (que presenta los niveles más bajos en los drenajes). La concentración media de los sustratos se sitúa muy próxima a la emitida por la perlita.

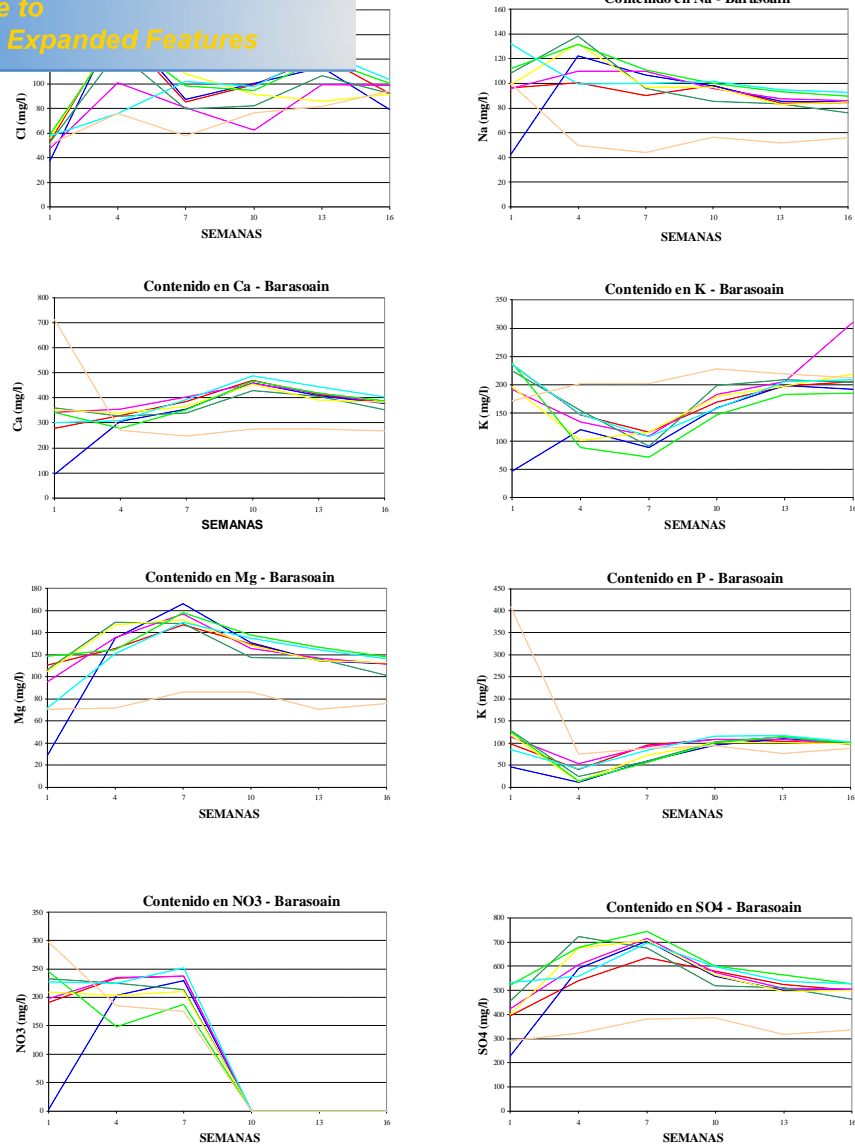
El NO_3 debe presentar concentraciones semejantes que puede variar en un $\pm 25\%$. Aunque no hay datos a partir de la décima semana, se ve como las concentraciones en los drenajes cumplen lo propuesto siendo la fibra de coco el sustrato que presenta los valores más bajos. A partir de la séptima semana hay un descenso en el contenido de nitratos, coincidiendo con una subida en el pH de los drenajes.

Tanto Ca , como SO_4^{2-} , deben encontrarse en los drenajes en concentraciones entre el 100 y 150% de la solución entrante; en ambos casos esto se cumple. El calcio experimenta un

drenajes a medida que avanza el ciclo y disminuye en la del ciclo todos los sustratos presentan concentraciones muy parecidas de este elemento, en cualquier caso muy superiores a las del gotero control.

El Mg debe encontrarse en los drenajes entre un 100 y un 300% más que en la entrada. Este elemento cumple lo indicado alcanzando concentraciones máximas en los drenajes en la séptima semana del ciclo a partir de la cual empieza a ser retenido progresivamente. La perlita y la fibra de coco, con valores muy próximos, son los sustratos que menos magnesio retienen, y sus concentraciones son algo superiores a las de los sustratos a base de fibra de pino. De entre estos el que más retiene este elemento es FDS + KYMENE 5%.

Por último Cl y Na⁺ deben presentar niveles cuanto más bajos mejor. El sodio se encuentra a concentraciones muy superiores a las del gotero control siendo FDS + KYMENE 5% el sustrato que más lo retiene. El cloro presenta valores muy inestables a lo largo de todo el ciclo. FDS 0% granulado es el sustrato que más retiene este elemento presentando a veces concentraciones menores a las del gotero control. Durante el ciclo se dan picos de concentraciones elevadas. En la cuarta semana del cultivo se dan los máximos de concentración de cloro en los drenajes. Al final del ciclo los valores de todos los sustratos son muy parecidos ajustándose a los presentados por el control.



— FIB 0% — FIB + KYM 5% — FDS 0% — FDS + KYM 5% — FIB — Fibra de coco — Perlita — Control

Figura 17. Evolución del contenido en cloro (Cl), sodio (Na), calcio (Ca), potasio (K), fósforo (P), nitratos (NO₃⁻) y sulfatos (SO₄²⁻) en los drenajes de Barasoain.

5.2.2 CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

En la Tabla 10 se realiza un primer análisis de la producción, donde se puede observar el total de kilogramos por metro cuadrado obtenidos en cada tratamiento. En función del calibre de los frutos se separa la producción total en frutos comerciales y no comerciales. También en la misma tabla se expone el número de frutos obtenido por metro cuadrado, dato directamente proporcional a la producción.

soain comercial y no comercial en (kg/m²) y número de

	Producción total (kg/m ²)	Producción comercial (kg/m ²)		Producción no comercial (kg/m ²)		Número de frutos/m ²	Frutos comerciales /m ²	Frutos no comerciales /m ²
FIB 0%	16,795a	16,103 a*	95,88%	0,692 a	4,12%	65,110	59,870 a	5,240 ab
FIB + KYM 5%	15,705a	14,811 a	94,31%	0,893 a	5,69%	62,274	56,440 a	5,830 ab
FDS 0%	14,640a	14,007 a	95,67%	0,633 a	4,33%	59,171	55,000 a	4,170 b
FDS + KYM 5%	16,470a	15,835 a	96,15%	0,635 a	3,85%	61,525	57,410 a	4,120 b
FIB	16,231a	15,285 a	94,17%	0,946 a	5,83%	63,986	56,500 a	7,490 a
Fibra de coco	15,262a	14,294 a	93,66%	0,968 a	6,34%	57,459	52,860 a	4,600 ab
Perlita	16,487a	15,882 a	96,33%	0,605 a	3,67%	61,204	57,410 a	3,750 b

* Los valores en columna con letras diferentes son estadísticamente significativos (P<0,05) según el test de comparaciones múltiples S-N-K.

Con estos resultados vemos como las producciones total y comercial de todos los sustratos son muy parecidas entre sí sin diferencias significativas. A pesar de esto, se puede mencionar que FIBRALUR 0% granulado es el sustrato que consigue mayor producción total con cerca de 17 kg/m². Además de esto, este sustrato es el que consigue mayor producción comercial (95,88%) y uno de los porcentajes más bajos de producción no comercial (4,12%). Cabe señalar que la perlita y FDS + KYMENE 5% también tienen producciones muy elevadas, siendo su proporción comercial más elevada, y la no comercial más baja que las de FIBRALUR 0% granulado.

La fibra de coco, es posiblemente el sustrato que peor producción presenta en su conjunto, ya que aunque no es el que tiene la producción total más baja es el que menor número de frutos por m² consigue y el que mayor producción no comercial obtiene. Estas diferencias en producción se pueden observar de manera gráfica en la Figura 18.

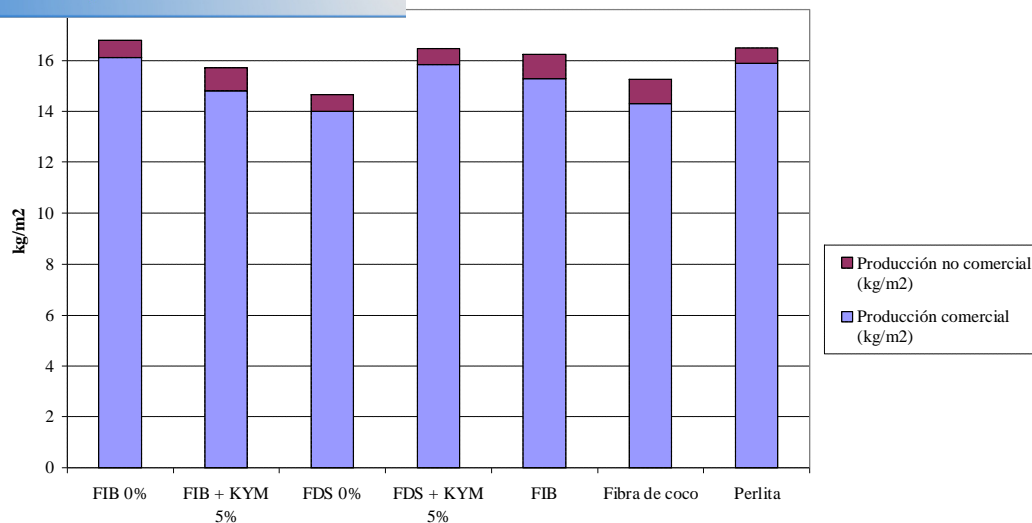


Figura 18.- Producción total comercial o no comercial de cada tipo de sustrato en Barasoain.

En cuanto a la producción por categorías presentada en la Figura 19, FIBRALUR es el sustrato que más porcentaje de frutos de calidad extra produce. Su producción de frutos de primera también es elevada, pero también es reseñable que es el sustrato que más frutos no comerciales (por calibre, no por estar dañados) produce. El resto de sustratos no producen tantos frutos de calidad extra, pero lo compensan con una mayor producción de frutos de calidad primera. La producción no comercial es muy baja en todos los tratamientos, siendo el mayor porcentaje de esta debido a frutos dañados y no a bajo calibre.

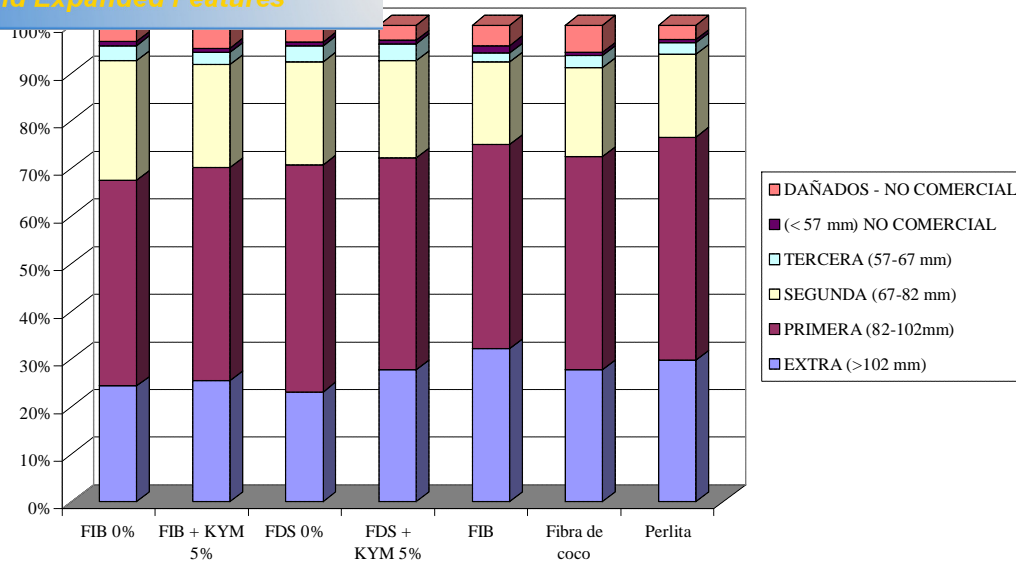


Figura 19.- Producción total de cada tipo de sustrato por categorías.

Por último en cuanto al ritmo de producción a lo largo del ciclo, la Figura 20 muestra la evolución de la producción durante este cuarto ciclo en Barasoain. Todos los tratamientos siguen una trayectoria más o menos similar, que muestra una tendencia ascendente hasta principios de junio, que es cuando empieza a decaer. Los picos de producción que se observan, sobre todo en el mes de mayo, pueden deberse a condiciones climáticas debido a que en ciertos momentos fueron muy favorecedoras para la maduración de los frutos. El aumento final de producción en todos los sustratos es debido al fin del ensayo, ya que el día de retirada de los sacos se recogieron tanto frutos maduros como verdes.

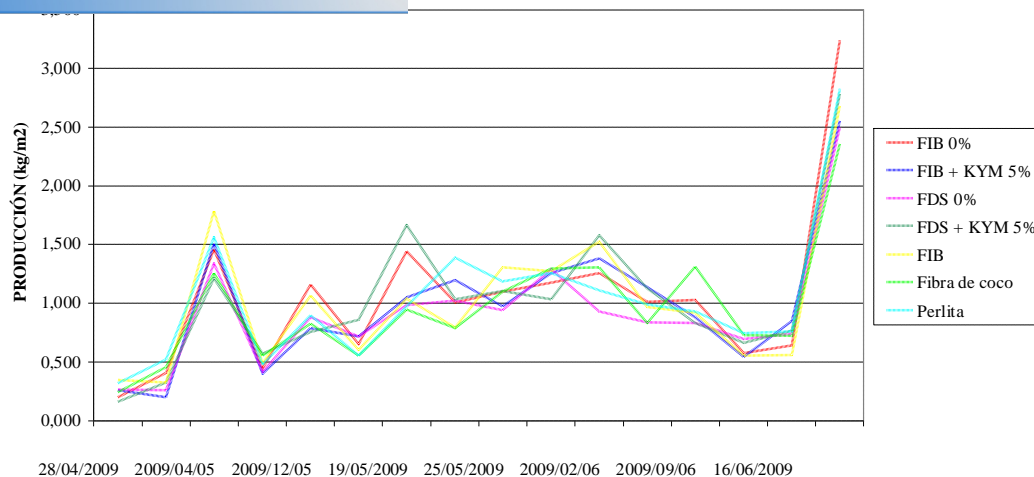


Figura 20.- Evolución de la producción por tipo de sustrato en Barasoain a lo largo del ensayo.

5.2.3 CONTROL DE CALIDAD

Los resultados del análisis de calidad de los frutos se muestran en la Tabla 11. En ella se puede ver que no hay diferencias significativas entre sustratos en lo que a pH y ° Brix se refiere. El pH de los frutos se encuentra entre los valores óptimos de 4 y 4,8 sugeridos por Chamarro (1995), así como contenido en sólido solubles (° Brix), que debe estar en torno a 4,5. Solamente hay diferencias señalables en cuanto al contenido en ácido cítrico de los frutos, valor estrechamente relacionado con el contenido en potasio. Si comparamos este dato con los sustratos de partida, FIBRALUR + KYMENE 5% y FDS 0% granulado presentan valores de acidez más parecidos a la perlita, mientras que FDS + KYMENE 5% se parece más a la fibra de coco. A pesar de las diferencias estadísticas, en todos los casos los valores de acidez se encuentran dentro de los óptimos también planteados por Chamarro (1995).

Tabla 11.- Valores de parámetros de calidad del fruto en Barasoain

	ACIDO CITRICO (g/l)	pH	°BRIX
FIB 0%	4,206 b*	4,025 a	4,975 a
FIB + KYM 5%	4,995 ab	3,975 a	5,000 a
FDS 0%	4,258 ab	4,025 a	4,975 a
FDS + KYM 5%	5,350 a	4,000 a	5,175 a
FIB	3,494 b	4,100 a	4,250 a
Fibra de coco	5,195 a	3,975 a	4,900 a
Perlita	4,784 ab	3,975 a	4,875 a

5.3 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS

5.3.1 RESULTADOS TRAS EL CICLO DE CULTIVO

5.3.1.1 Propiedades físicas

Tabla 12.- Propiedades físicas de los sustratos utilizados para el ensayo tras el cuarto ciclo de cultivo

	DA g/cm ³	DR g/cm ³	%EPT	CA (% vol)	AFD (% vol)	AR (% vol)	ADD (% vol)	ATD (% vol)
FIB 0%	0,082	1,641	95,100	27,605	19,850	4,050	38,715	23,900
FIB + KYM 5%	0,076	1,647	95,400	27,250	17,450	8,500	37,850	25,950
FDS 0%	0,075	1,693	95,600	27,800	18,550	6,150	38,900	24,700
FDS + KYM 5%	0,074	1,692	95,650	29,550	18,500	6,150	37,300	24,650
FIB	0,072	1,696	95,800	31,500	20,200	5,650	34,200	25,850
Fibra de coco	0,061	1,706	96,450	34,750	22,850	2,250	33,050	25,100
Perlita	0,129	2,524	94,700	32,400	18,600	4,000	34,500	22,600
Valores óptimos (Abad et al., 2004)	<0,4	1,42,6	>85	2030	2030	410		2030

DA: densidad aparente en seco, DR: densidad real, EPT: espacio poroso total, CA: capacidad de aireación, AFD: agua fácilmente disponible, AR: Agua de reserva, ADD: agua difícilmente disponible, ATD: agua total disponible.

De acuerdo con los resultados obtenidos (Tabla 12) los valores de densidad aparente, densidad real y espacio poroso total se encuentran dentro de los óptimo descritos por Abad *et al.*, (2004). Hay que tener en cuenta que todos los sustratos a base de fibra de madera tienen una densidad real muy parecida ya que esta propiedad es intrínseca al material y no depende de la compactación ni del tamaño de las partículas que lo forman. En cuanto al espacio poroso total (EPT) todos los sustratos presentan valores muy superiores al 85%. Esto, aunque es una buena característica, ha de considerarse a la hora de establecer el fertirriego.

El resto de parámetros también se adecuan más o menos a los valores óptimos descritos por Abad *et al.*, (2004), pero estos necesitan una consideración. Los valores propuestos como óptimos están descritos para cultivos en contenedor, por lo que para un cultivo hidropónico sobre sacos de cultivo deberían de ser algo diferentes. En un cultivo en sacos el volumen de raíces desarrolladas dentro de los mismos es mayor que en un contenedor y la frecuencia del riego también es mayor, de ahí que los requerimientos sean distintos necesitando una mayor capacidad de aireación y menor capacidad de retención de agua.

capacidad de aireación (CA) deberían ser algo superiores, de acuerdo a los resultados obtenidos, y los valores de agua fácilmente disponibles (AFD) y agua de reserva (AR) podrían ser algo menores ajustándose también mejor a los datos de la tabla.

En cuanto a la CA se observa como ésta disminuye en las variantes del sustrato FIBRALUR y la de éste es muy parecida a la de la perlita. La fibra de coco presenta los valores más elevados de CA, lo cual podría estar relacionado con la granulometría de este material. FIBRALUR es el sustrato que mayor agua total disponible (ATD) presenta en contraposición a la perlita que es la que menor proporción tiene de esta misma propiedad. Estas diferencias se pueden observar en la figura 21.

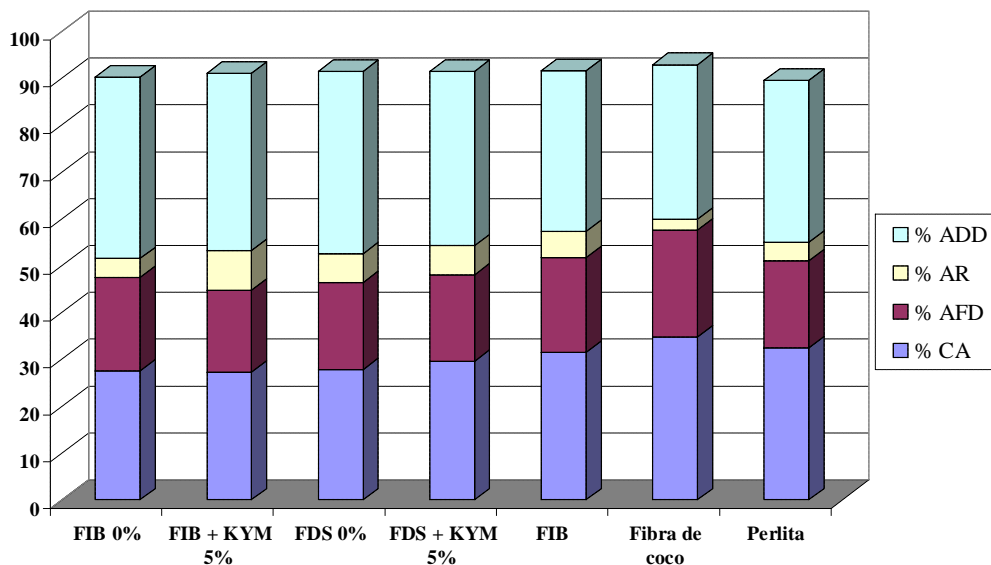


Figura 21.- Comparativa entre sustratos de la distribución del espacio poroso total (EPT) en porcentaje de volumen del sustrato. (ADD: agua difícilmente disponible, AR: agua de reserva, AFD: agua fácilmente disponible, CA: capacidad de aireación).

5.3.1.2 Pérdida de materia orgánica (envejecimiento de los sustratos)

Otra de las características analizadas tras el ciclo de cultivo fue la pérdida de materia orgánica sufrida por los sustratos. Aunque por estudios anteriores se sabe que esta pérdida no tiene mayor influencia sobre la productividad de los sustratos en comparación con fibra de coco y perlita, si se aprecia una considerable reducción en su volumen otorgándoles un aspecto desmejorado. Los resultados obtenidos (Tabla 13) muestran como el sustrato que

ciclo de cultivo es la fibra de coco, dato contrario a lo puesto con una relación C/N muy elevada (80) y por lo tanto poco degradable. FIBRALUR sin granular es el sustrato que menos pérdida de materia orgánica sufre, y en todas sus variantes esta pérdida es mayor. Esto no es lo esperado, ya que las variante de FIBRALUR llevan aditivos y procesos seleccionados para conferirles una estructura más estable. Aún así se puede observar como FDS en sus dos variantes, con o sin aditivo, presenta menor pérdida que las variantes de FIBRALUR 0%. Esto puede ser debido a su proceso de desfibrado en seco el cual no permita que la fracción soluble de la materia orgánica se pierda por el lavado a altas temperaturas.

Por otro lado la pérdida de materia orgánica sufrida por la perlita tampoco es lógica, ya que es un sustrato de origen inorgánico y que, en todo caso, debería de sufrir un incremento en materia orgánica gracias al aporte que suponen las raíces de las plantas que permanecen al ser estas retiradas.

Tabla 13.- Porcentajes de materia orgánica perdida por los sustratos tras el cuarto ciclo de cultivo.

	Contenido MS inicial (kg)	Humedad inicial (%)	Contenido MS final (kg)	Humedad final (%)	Pérdida	% de pérdida
FIB 0%	3,768	80,617	2,424	88,786	1,344	35,094
FIB + KYM 5%	3,528	79,433	2,170	89,546	1,358	38,057
FDS 0%	2,209	85,751	1,650	89,246	0,559	25,295
FDS + KYM 5%	2,767	84,244	2,045	89,860	0,723	26,022
FIB	2,767	82,479	2,133	88,568	0,635	22,824
Fibra de coco	5,125	82,411	2,936	89,195	2,188	42,273
Perlita	5,650	77,921	5,194	81,270	0,456	7,989

5.3.2 RESULTADOS EVOLUTIVOS TRAS CUATRO CICLOS DE CULTIVO

5.3.2.1 Contenido en materia orgánica (MO)

Tras varios ciclos de cultivo sobre los mismos sacos de cultivo estos ven alteradas sus propiedades y estructura. En la Figura 22 se presentan las curvas evolutivas del contenido en materia orgánica (MO) que presentan los sacos al final de cada ciclo.

Todos los sustratos siguen tendencias similares y no presentan diferencias muy notables entre ellos, aunque las diferencias que presentan respecto a los sustratos de referencia o tradicionales son destacables.

Con las cenizas, son los componentes que constituyen la materia orgánica. Las diferencias en el contenido en MO hay que atender a la naturaleza de los materiales. La perlita es un material casi inerte, que no se descompone biológicamente ni químicamente y que no contiene microorganismos, siendo completamente estéril. Sin embargo se observa como describe una curva ligeramente ascendente a medida que pasan los ciclos. Este incremento en el porcentaje de MO es debido a los restos de raíces que quedan remanentes dentro de los sacos al final de cada ciclo. En el caso de la fibra de coco se produce un descenso en el contenido en MO tras los ciclos, aunque éste no es muy pronunciado debido a la naturaleza de la materia orgánica que compone este material, que es poco degradable por los microorganismos descomponedores, y estable por el proceso de compostaje previo que recibe. El resto de sustratos experimentan descensos del contenido en MO más acusados sobre todo durante los 3 primeros ciclos, y en menor medida entre el tercero y cuarto.

Comparando los valores iniciales y finales del porcentaje de MO presente en los sustratos a base de fibra de madera se aprecia como FIBRALUR 0% granulado y FDS + KYMENE 5% son los que menor pérdida experimentan además de ser esta bastante lineal con la progresión de los ciclos. El resto de sustratos de fibra de madera llegan a perder en torno al 20% de su contenido en materia orgánica tras los cuatro ciclos, pero puede destacarse como en el sustrato FIBRALUR esta pérdida se da principalmente entre el segundo y tercer ciclo.

Así pues, se puede confirmar como los sustratos a base de fibra de madera en cualquiera de sus variantes pierden menos materia seca con su uso reiterado que la fibra de coco, manteniendo niveles más bajos de humedad. En cuanto a la materia orgánica, aunque parten de valores iniciales más elevados que la fibra de coco, en ningún caso los valores finales se encuentran por debajo de los presentados por este material.

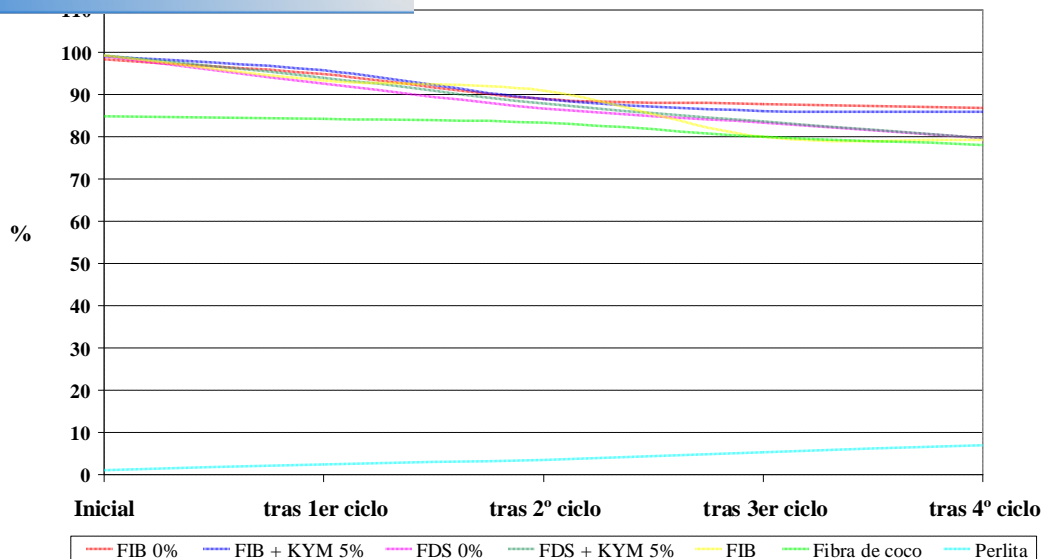


Figura 22.- Evolución de los contenidos en materia orgánica (MO) de los sustratos tras los sucesivos ciclos de cultivo.

5.3.2.2 Curvas de liberación de agua

Como ya se ha comentado, con el uso reiterado de los sustratos las propiedades físicas de estos se ven alteradas y con ello sus curvas de liberación de agua (figura23).

Comparando los resultados entre el primer y último ciclo se puede observar en todos los sustratos a base de fibra de madera la reacción típica del sustrato debido a su uso prolongado. Esto se evidencia en el volumen de aire a 10cm c.a. de tensión que en todos los casos disminuye. Esto se debe a la rotura de fibras que provoca una pérdida en su estructura, aumentando la cantidad de poros de tamaño reducido y disminuyendo la de macroporos. Los cinco sustratos evaluados cuando no se encuentran degradados presentan una alta capacidad de aireación a tensión de 10 cm c.a., por esto fueron elegidos para este ensayo hidropónico. De todos ellos, al final del cuarto ciclo, FDS 0% granulado y FIBRALUR + KYMENE 5%, en el cual ocurre durante el tercero.

La perlita, al igual que la fibra de pino, pierde ligeramente su capacidad de aireación y por lo tanto aumenta el volumen de agua presente en ella. En este caso, esto también se debe a la degradación de su estructura, aunque es mucho menos pronunciada que la sufrida por los sustratos anteriormente comentados. Así pues, la perlita ofrece un buen volumen de aireación a 10 cm c.a de tensión hasta el cuarto ciclo. A altas tensiones se comporta igual

de pino y que la fibra de coco. En cuanto a la fibra de coco, su capacidad de aireación que la perlita y que lo sustratos a base de fibra de madera a tensión de de 10 cm c.a. Su degradación se hace más patente a partir del segundo ciclo de cultivo, siendo esta finalmente algo menor que la de los sustratos a base de fibra de madera y la perlita.

Se puede afirmar pues, que la fibra de pino, y en especial FIBRALUR granulado y FDS + KYMENE 5%, actúa de forma adecuada frente al uso reiterado como medio de cultivo aunque su capacidad de aireación se ve disminuida sobre todo a partir del 2º ciclo.

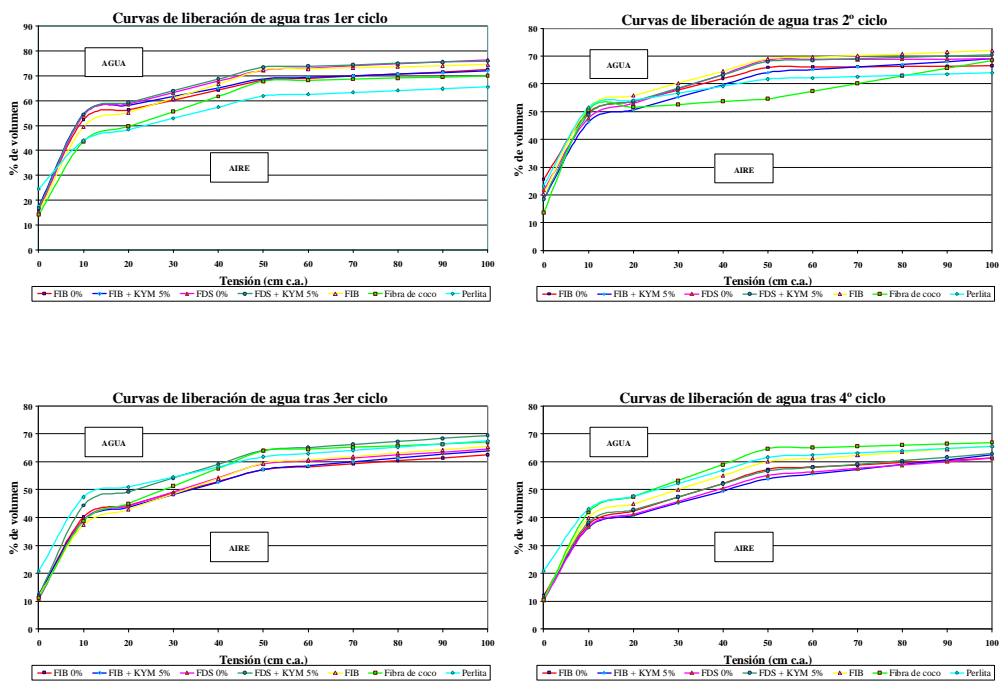


Figura 23.- Evolución de las curvas de liberación de agua de los sustratos tras diferentes ciclos de cultivo.

CONCLUSIONES

- Los sustratos de fibra de madera (FIBRALUR y FDS, granulados o no, con o sin adhesivos) no presentan diferencias en cuanto a producción y calidad de tomate en comparación con los sustratos convencionales perlita y fibra de coco.
- Las propiedades físicas de los sustratos de fibra de madera tras un ciclo de cultivo son muy parecidas a las presentadas por los sustratos de referencia encontrándose siempre dentro de los valores óptimos y manteniendo la producción. Todos los sustratos presentan un valor de espacio poroso total superior al 85% y capacidad de aireación óptimas.
- La pérdida de materia orgánica tras un ciclo de cultivo en todos los casos es inferior a la sufrida por la fibra de coco. FIBRALUR+ KYMENE 5% es el sustrato que más pérdida de materia orgánica presenta, lo cual se aleja del objetivo de añadir aditivos para dar más estabilidad a la estructura del sustrato.
- Los sustratos de fibra de madera, en cualquiera de sus variantes, pierden menos materia seca con su uso reiterado que la fibra de coco, manteniendo niveles más bajos de humedad. En cuanto a la materia orgánica, aunque parten de valores iniciales más elevados que la fibra de coco, en ningún caso los valores finales se encuentran por debajo de los presentados por este material.
- Frente al uso reiterado como medio de cultivo la fibra de pino, y en especial FIBRALUR granulado y FDS +KYMENE 5%, actúa de forma adecuada aunque su capacidad de aireación se ve disminuida sobre todo a partir del segundo ciclo.
- La fibra de pino, en todas sus variantes, puede ser utilizada como sustrato alternativo con los mismos rendimientos que la fibra de coco y perlita. Esto supone una alternativa con claras ventajas medioambientales frente a otros sustratos no biodegradables utilizados actualmente.

7. BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M. (1991). Los sustratos hortícolas y las técnicas de cultivo sin suelo. En La Horticultura Española en la C.E. (Eds. Rallo, L.; Nuez, F.), pp. 270-280. Ediciones de Horticultura S.L., Reus.

ABAD, M. (1992). Los sustratos hortícolas: características y manejo. Actas del II Congreso Nacional de Fertirrigación. Almería (1991): 115.

ABAD, M. (1995). Sustratos para el cultivo sin suelo. En El Cultivo del tomate (Ed. Nuez, F.), pp.131-166. Ediciones MundiPrensa. Madrid

ABAD, M.; MARTÍNEZ, P.F.; MARTÍNEZ, M.D.; MARTÍNEZ, J. (1993). Evaluación de agronómica de los sustratos de cultivo. Actas de Horticultura, 11: 141-154.

ABAD, M.; NOGUERA, P.; NOGUERA, V.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; PAREDES, C. (1997). Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo. Actas de Horticultura, 19: 92-109.

ABAD, M.; NOGUERA, P.; BURÉS, S. (2000) Inventario de sustratos y materiales adecuados para ser utilizados como sustratos o componentes de sustratos en España. Acta de Horticultura, 32:361-362.

ABAD, M.; NOGUERA, P.; CARRIÓN, C. (2004). Los sustratos en los cultivos sin suelo. En Tratado de cultivo sin suelo (Ed. Miguel Urrestarazu), pp. 113-158. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

ALDANONDO, A.M. (1995). Cultivo y producción de tomate en la Unión Europea y en España. En El Cultivo del Tomate (Ed. Nuez, F.), pp. 695-740. Ediciones MundiPrensa. Madrid

ALDANONDO, A.M. (1996). El mercado europeo de tomate en fresco. Hortoinformación, 74:21-28

BENOIT, F.; CEUSTERMANS, N. (1990). The use of recycled polyurethane (PUR) as an ecological growing medium. *Plasticulture*, 88. 41-48.

BENOIT, F.; CEUSTERMANS, N. (1995). A Decade of Research on Ecologically sound substrates. *Acta Horticulturae*, 408: 17-29.

BUNT, A.C. (1988). *Media and Mixes for Container Grown Plants*. 2nd Ed. Unwin Hyman Ltd., London.

BURÉS, S. (1997). *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid.

BURES, S.; MARTINEZ I. (1983). La brisa com a substrat hortícola: fermentació, caracterizació i assaigs de conreu. Trabajo Final de Carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Barcelona.

CÁNOVAS, F. (1993). Principios básicos de hidroponía. Aspectos comunes y diferenciales de los cultivos con y sin suelo. En *Curso superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo* (Eds. Cánovas, F.; Díaz, J.R.), pp. 29-42. I.E.A./F.I.A.P.A., Almería.

CÁNOVAS, F. (1995). Manejo del cultivo sin suelo. En *El Cultivo del Tomate*. (Ed. Nuez, F.), pp. 227-254. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

CHAMARRO, J. (1995). Anatomía y fisiología de la planta. En *El Cultivo del Tomate*. Ed. Nuez, F.), pp. 43-91. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

CHEN, Y.; STEVENSON, F.J. (1986). Soil organic matter interactions with trace elements. En *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture* (Eds. Chen, Y.; Avnimelech, Y.), pp. 73-116. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Netherlands.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O.; CAPPAERT, I. (1974). Method for Measuring the Waterrelease Curve of Organic Substrates. *Acta Horticulturae* 37, 2054-2063.

FAO (1990). Soilless Culture for Horticultural Crop Production. FAO Plant Production and Protection. Paper n.º 101. FAO, Rome.

GONZALEZ, A.; SALAS, M.C.; URRESTARAZU, M. (2004). Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. En Tratado de cultivo sin suelo (Ed. Miguel Urrestarazu), pp.703-748. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

GUERIN, V.; LEMAIRE, F.; MARFA, O.; CACERES, R.; GIUFFRIDA, F. (2000). Consequences of using alternative to peat substrates for the environment. Acta Horticulturae 511: 239-248.

HANDRECK, K.A.; BLACK, N.D. (1994). Growing Media for ornamental plants and turf. University of New South Wales Press, Australia.

JENSEN, M.H.; COLLINS, W.L. (1985). Hydroponic vegetable production. En Horticultural reviews (Ed. Janick, J.), Volume 7, pp. 483-558. The AVI Publishing Co., Westport, CT.

LEMAIRE, F.; DARTIGUES, A.; RIVIÈRE, L.M.; CHARPENTIER, S. (1989). Cultures en Pots et Conteneurs. INRA ó PHM Revue Horticole, ParisLimoges.

MARTINEZ, P.F.; ABAD, M. (1993). Soilless culture of tomato in different mineral substrates. Acta Horticulturae, 323: 251-259.

MARTÍNEZ, E.; GARCÍA, M. (1993). Cultivos sin Suelo: Hortalizas en Clima Mediterráneo. Ediciones de Horticultura S.L., Reus.

MARTINEZ, F.X.; BURÉS, S. (1988). Sustratos y medios para el cultivo sin suelo. Jornadas Técnicas sobre òEl Cultivo Sin Sueloö. FIRESME, Mataró, febrero 1988. Texto de las Ponencias, pp. 12-35.

.; MARFÁ, O.; OROZCO, R. (1993). Regresión
vas de liberación de agua y predicción del contenido de
agua en sacos de perlita. *Actas de Horticultura*, 10: 1143-1151.

MAZUELA, P.; SALAS, M. D. C.; URRESTARAZU, M. (2005). Vegetable waste
compost as substrate for melon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 36:
1557-1572.

MENZIES, N. W.; AITKEN, R. L. (1996). Evaluation of fly ash as a component of potting
substrates. *Scientia Horticulturae* 67: 87-99.

MOINEREAU, J.; HERRMANN, P.; FAVROT, J.C.; RIVIÈRE, L.M. (1987). Les substrats
Inventaire, caractéristiques, ressources. En *Les Cultures Hors Sol*. 2ª ed. (Ed. Blanc, D.), pp.
15-77. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paris.

MURO, J.; IRIGOYEN, I.; SAMITIER, P; MAZUELA, P.; SALAS, M.C.; SOLER, J;
URRESTARAZU, M. (2005). Wood fiber as growing medium in hydroponic crop. *Acta*
Horticulturae, 697:179-185.

RAMOS, C. (1993). La hidroponía y el medio ambiente, En *Curso Superior de*
Especialización sobre Cultivos sin Suelo (Eds. Cánovas, F.; Díaz, J.R.), pp. 363-372.
I.E.A/F.I.A.P.A., Almería.

RAVIV, M.; CHEN, Y.; INBAR, Y. (1986). Peat and peat substitutes as growth media for
containergrown plants. En *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture* (Eds. Chen,
Y.; Avnimelech, Y.), pp. 257-287. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht Netherlands.

RESH, H.M. (1992). *Cultivos Hidropónicos. Nuevas Técnicas de Producción*. 3ª ed.
Ediciones MundiPrensa, Madrid.

RICHARDS, D.; LANE, M.; BEARDSSELL, (1986). The Influence of particlesize
distribution in pinebark:sand:brown coal potting mixes on water supply, aireation an plant
growth. *Scientia Horticulturae*, 29, 1-14.

RIVIÈRE, L.M.; MILHAU, C. (1984). The use of wood waste composts in the making of

Horticulturae, 150: 475-489.

SALAS, M.C.; URRESTARAZU, M.; MORENO, J.; ELORRIETA, M.A. (2000). Sustrato alternativo para su uso en cultivo sin suelo. Phytoma, 123: 52-55.

SEGURA, B.; CABALLER, V. (1995). Aspectos económicos de la producción del tomate. En El Cultivo del Tomate (Ed. Nuez, F.), pp. 671-694. Ediciones MundiPrensa. Madrid.

SPOMER, L.A. (1974). Two classroom exercises demonstrating the pattern of container soil water distribution. HortScience, 9: 152-153.

SPOMER, L.A. (1975). Soil aeration and plant growth. Illinois State Florist Association Bulletin, 363: 113-122.

STRASBURGER, E.; NOLL, F.; SCHENK, H.; SCHIMPER, A.F.W; VON DENFFER, D.; EHRENDORFER, F.; BRESINSKY, A.; ZIEGLER, H. (1986). Tratado de Botánica. 7ª ed. Editorial Marín S.A., Barcelona.

TROUG, E. (1951). Mineral Nutrition of Plants. University of Wisconsin Press, USA.

VISER, S.A. (1986). Effect of humic substances on plant growth. En Humic Substances, Effect on Soil and Plant, pp. 89-135. REDA, Rome.

URRESTARAZU, M.; SALAS, M.C. (2002). El papel de los cultivos sin suelo en la moderna agronomía. Vida Rural, 154: 54-57.

URRESTARAZU, M; SOLER, J.; SALAS M.C.; MURO, J.; IRIGOYEN, I.; SALAZAR, R. (2005a). La fibra de pino como sustrato en cultivo sin suelo de plantas hortícolas. Vida Rural, 205: 44-48.

URRESTARAZU, M.; MAZUELA, P.; DEL CASTILLO, J.; SÁDABA, S.; MURO, J. (2005b). Fibra de pino: Un sustrato ecológico. Horticultura Internacional, 49: 28-33.

VERDONCK, O. (1983). Reviewing and evaluation of new materials used as substrates. Acta Horticulturae, 150: 467-473.

ANEXOS

entes a este apartado se presentan adjuntos a este trabajo este trabajo en un CD. En él, en la carpeta **anexos**, se pueden encontrar:

- **ANEXO I: REGLAMENTO (CE) No 790/2000 DE LA COMISIÓN de 14 de abril de 2000.** Norma por la que se establecen las normas de comercialización de los tomates.
- **ANEXO II: DIFICIENCIAS NUTRICIONALES Y ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE TOMATE.**
- **ANEXO III: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.** Se presentan los resultados de los análisis estadísticos del programa SPSS tras realizar los test de normalidad, ANOVA y Student-Norman-Keuls. En documento consta de 4 apartados correspondientes a:
 - a) producción en Barasoain,
 - b) producción en Sartaguda,
 - c) calidad del fruto en Barasoain,
 - d) calidad del fruto en Sartaguda.En los apartados correspondientes a producción se presentan los resultados de producción comercial en kg/m^2 , frutos comerciales/ m^2 , producción no comercial/ m^2 y frutos no comerciales/ m^2 . En los apartados de calidad los resultados se corresponden a los análisis de acidez, pH y °Brix.
- **ANEXO IV: DATOS DE VOLUMEN DE LOS DRENAJES.** Se recogen en un archivo Excel con tres hojas. En la primera se encuentran los datos de porcentaje de volumen recogido en los drenajes de cada tipo de sustrato. Las otras dos hojas son los gráficos presentados en el trabajo.
- **ANEXO V: DATOS DE pH DE LOS DRENAJES.** Se presentan en un archivo Excel con tres hojas. La primera de ellas recoge los datos correspondientes al pH de la solución recogida en los drenajes de cada tipo de

3 hojas del libro contienen la representación gráfica de

- **ANEXO VI: DATOS DE CE DE LOS DRENAJES.** Al igual que en los casos anteriores se trata de un libro Excel con los datos de CE de los drenajes para cada tipo de sustrato. También se presentan los gráficos de este parámetro para los emplazamientos del ensayo (Sartaguda y Barasoain).
- **ANEXO VII: DATOS DE NUTRIENTES VERTIDOS EN LOS DRENAJES.** Consiste en un libro Excel con 8 hojas. En ellas se encuentran los datos en mg/l de cada nutriente presente en los drenajes de cada tipo de sustrato. Para cada nutriente se presenta un hoja. Estos son: cloro, sodio, calcio, potasio, magnesio, fósforo, nitratos y sulfatos.
- **ANEXO VIII: DATOS DE PRODUCCIÓN.** Contiene 3 hojas Excel en las que se presentan: los datos correspondientes a producción en ambos emplazamientos del proyecto tanto en kg/m² comerciales y no comerciales, como en frutos/m²; los datos de producción por categorías para Sartaguda y Barasoain atendiendo al Reglamento (CE) No 790/2000, detallado en el Anexo I; y los datos de evolución de la producción también para ambos emplazamientos a lo largo del ciclo estudiado en el presente trabajo.

ANEXO I

REGLAMENTO (CE) No 790/2000 DE LA COMISIÓN de 14 de abril de 2000 por el que se establecen las normas de comercialización de los tomates.

NORMAS PARA LOS TOMATES

I. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Las presentes normas se aplicarán a los tomates de las variedades (cultivares) obtenidas de *Lycopersicon lycopersicum* (L.) Karsten ex Farw/*Lycopersicon esculentum* Mill. que se destinen a su entrega en estado fresco al consumidor y no a la transformación industrial.

Se distinguen cuatro tipos comerciales de tomates:

- «redondos lisos»
- «asurcados»
- «oblongos» o «alargados»,
- tomates «cereza» (incluidos los tomates «cóctel»).

II. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA CALIDAD

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos de calidad que deberán cumplir los tomates tras su acondicionamiento y envasado.

A. Requisitos mínimos

En el caso de todas las categorías y sin perjuicio de las disposiciones especiales de cada una de ellas y de los límites de tolerancia establecidos, los tomates deberán entregarse:

- enteros,

-
- sanos, quedando excluidos los productos que presenten podredumbre u otras alteraciones que los hagan impropios para el consumo,
 - limpios, prácticamente exentos de materias extrañas visibles,
 - de aspecto fresco,
 - prácticamente exentos de plagas,
 - prácticamente exentos de daños causados por plagas,
 - exentos de un grado anormal de humedad exterior,
 - exentos de olores y sabores extraños.

En el caso de los tomates en racimos, los tallos deberán tener un aspecto fresco, sano, limpio y estar exentos de hojas y materias extrañas visibles. Los tomates se hallarán en un estado y una fase de desarrollo que les permitan:

- conservarse bien durante su transporte y manipulación, y
- llegar en condiciones satisfactorias a su destino.

B. Clasificación

Los tomates se clasificarán en una de las tres categorías siguientes:

i) Categoría «Extra»

Los tomates clasificados en esta categoría deberán ser de calidad superior. Deberán tener la pulpa firme y presentar la forma, el aspecto y el desarrollo característicos de la variedad. Su coloración, en relación con el estado de madurez, deberá ser suficiente para reunir los requisitos establecidos en el último guión de la letra A. No podrán presentar «dorso verde» ni otros defectos, salvo muy ligeras alteraciones superficiales en la epidermis que no afecten al aspecto general del producto ni a su calidad, conservación y presentación en el envase.

ii) *Categoría I*

Los tomates clasificados en esta categoría deberán ser de buena calidad, suficientemente firmes y presentar las características de la variedad. ES Diario Oficial de 15.4.2000 las Comunidades Europeas L 95/27. No podrán presentar grietas ni «dorso verde» aparentes. Sin embargo podrán presentar los defectos leves que se indican a continuación, siempre que éstos no afecten al aspecto general de los productos ni a su calidad, conservación y presentación en el envase:

- ligeras malformaciones y defectos de desarrollo,
- ligeros defectos de coloración,
- ligeros defectos en la epidermis,
- magulladuras muy ligeras.

Además, los tomates «asurcados» podrán presentar:

- grietas cicatrizadas de 1 cm de longitud máxima,
- protuberancias no excesivas,
- un pequeño ombligo que no presente formación acorchada,
- cicatrices acorchadas de forma umbilical en el punto pistilar, cuya superficie total no exceda de 1 cm²,
- una fina cicatriz pistilar alargada (similar a una costura), cuya longitud no supere los dos tercios del diámetro máximo del fruto.

iii) *Categoría II*

Esta categoría comprenderá los tomates que no puedan clasificarse en las categorías superiores pero que cumplan los requisitos mínimos arriba establecidos. Deberán ser suficientemente firmes (aunque podrán ser ligeramente menos firmes que los clasificados en la categoría I) y no podrán presentar grietas sin cicatrizar. Siempre que conserven sus características esenciales de calidad, conservación y presentación estos tomates podrán tener los defectos siguientes:

- defectos de forma, de desarrollo y de coloración,

-
- defectos de la epidermis o magulladuras, siempre que no dañen gravemente el fruto,
 - grietas cicatrizadas de 3 cm de longitud máxima.

Además, los tomates «asurcados» podrán presentar:

- protuberancias más marcadas en comparación con la categoría I, sin que exista deformidad,
- un ombligo,
- cicatrices acorchadas de forma umbilical en el punto pistilar, cuya superficie total no exceda de 2 cm²,
- una fina cicatriz pistilar alargada (similar a una costura).

III. DISPOSICIONES RELATIVAS AL CALIBRADO

El calibre vendrá determinado por el diámetro máximo de la sección ecuatorial. Las disposiciones siguientes no se aplicarán a los tomates «cereza».

A. Calibre mínimo

El calibre mínimo de los tomates clasificados en las categorías «Extra», I y II se fija en:

- 35 mm para los tomates «redondos lisos» y «asurcados»,
- 30 mm para los tomates «oblongos».

B. Escala de calibrado

Se utilizará la escala de calibrado siguiente:

- 30 mm inclusive a 35 mm exclusive (1),
- 35 mm inclusive a 40 mm exclusive,
- 40 mm inclusive a 47 mm exclusive,
- 47 mm inclusive a 57 mm exclusive,
- 57 mm inclusive a 67 mm exclusive,

- 67 mm inclusive a 82 mm exclusive,
- 82 mm inclusive a 102 mm exclusive,
- 102 mm o más.

La observancia de la escala calibrado será obligatoria para los tomates de las categorías «Extra» y I. Esta escala de calibrado no se aplicará a los tomates en racimos.

(1) Únicamente para los tomates oblongos.

ES Diario Oficial de las L 95/28 Comunidades Europeas 15.4.2000.

IV. DISPOSICIONES RELATIVAS A LAS TOLERANCIAS

Dentro de los límites que se disponen a continuación, se admitirá en cada envase la presencia de productos que no cumplan los requisitos de calidad y calibre de la categoría en él indicada.

A. Tolerancias de calidad

i) Categoría «Extra»

— Un 5 % en número o en peso de tomates que no cumplan los requisitos de esta categoría pero que se ajusten a los de la categoría I o que, como mínimo y con carácter excepcional, se incluyan en las tolerancias de esa categoría.

ii) Categoría I

— Un 10 % en número o en peso de tomates que no cumplan los requisitos de esta categoría pero que se ajusten a los de la categoría II o que, como mínimo y con carácter excepcional, se incluyan en las tolerancias de esa categoría.

— En el caso de los tomates en racimos, un 5 % en número o en peso de tomates separados del tallo.

iii) *Categoría II*

- Un 10 % en número o en peso de tomates que no cumplan los requisitos de esa categoría ni tampoco los requisitos mínimos, quedando excluidos los productos que presenten podredumbre, magulladuras pronunciadas u otras alteraciones que los hagan impropios para el consumo.
- En el caso de los tomates en racimos, un 10 % en número o en peso de tomates separados del tallo.

B. Tolerancias de calibre

En el caso de todas las categorías: un 10 % en número o en peso de tomates que correspondan al calibre inmediatamente inferior o superior al calibre especificado, con un mínimo de 33 mm para los tomates «redondos lisos» y «asurcados» y de 28 mm para los tomates «oblongos».

V. DISPOSICIONES RELATIVAS A LA PRESENTACIÓN

A. Homogeneidad

El contenido de cada envase deberá ser homogéneo, incluyendo únicamente tomates del mismo origen, variedad o tipo comercial, calidad y calibre (este último criterio en la medida en que sea aplicable). Los tomates clasificados en las categorías «Extra» y I deberán ser prácticamente homogéneos en lo que se refiere a su madurez y coloración. Además, en el caso de los tomates «oblongos», la longitud deberá ser suficientemente uniforme.

La parte visible del contenido del envase tendrá que ser representativa del conjunto.

B. Acondicionamiento

El envase de los tomates deberá progerlos convenientemente. Los materiales utilizados en el interior del envase deberán ser nuevos, estar limpios y ser de una materia que no pueda causar al producto alteraciones internas ni externas. Se permitirá el uso de materiales, y, en especial, de papeles o sellos que lleven indicaciones comerciales, siempre que la impresión o el etiquetado se hagan con tintas o gomas que no sean tóxicas. Los envases deberán estar exentos de materias extrañas.

C. Presentación

Los tomates podrán presentarse:

- i) en forma de frutos separados, con o sin cáliz y tallo corto,
- ii) en forma de tomates en racimos, es decir que los tomates se presentan en inflorescencias enteras o partes de inflorescencia, siempre que cada inflorescencia o parte de ésta conlleve al menos el siguiente número de frutos:
 - 3 frutos (2 frutos en preenvase), o
 - en el caso de los tomates «cereza» en racimos, 6 frutos (4 frutos en preenvase).

VI. DISPOSICIONES RELATIVAS AL MARCADO

Cada envase llevará, agrupadas en uno de sus lados y con caracteres legibles, indelebles y visibles desde el exterior, las indicaciones siguientes:

A. Identificación

Envasador o expedidor: nombre y dirección o identificación simbólica expedida o reconocida oficialmente. No obstante, en caso de utilizarse un código (identificación simbólica), se harán figurar junto a él las palabras «envasador o expedidor (o una abreviatura equivalente)».

ES Diario Oficial de 15.4.2000 las Comunidades Europeas L 95/29.

B. Naturaleza del producto

- «tomates» o «tomates en racimos» y tipo comercial, si el contenido no es visible desde el exterior; estas indicaciones serán obligatorias en todos los casos para el tipo «cereza» (o «cóctel»), en racimos o no,
- nombre de la variedad (facultativo).

C. Origen del producto

- País de origen y, en su caso, zona de producción o denominación nacional, regional o local.

D. Características comerciales

- categoría,
- calibre (cuando sea aplicable), expresado por el diámetro mínimo y máximo o, cuando proceda, mención «sin calibrar»,
- contenido mínimo de azúcar, medido con un refractómetro y expresado en valor Brix (facultativo).

E. Marca de control oficial (facultativa).

ANEXO II

DIFICIENCIAS NUTRICIONALES Y ALTERACIONES FISIOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE TOMATE.

Los estudios realizados sobre la nutricional vegetal han permitido descubrir los elementos constituyentes y esenciales de las plantas. De el peso fresco de un trozo de material vegetal tan solo el 15% esta constituido por material seco. Entre el 90-95% del residuo seco está constituido por C, O e H procedentes los tres del agua y el aire. El resto lo constituye lo que se denomina el contenido mineral de la planta y que es extraído por esta del suelo o de la solución nutritiva en su caso. Estos elementos son los que comúnmente limitan el desarrollo del cultivo. Así pues se describen como esenciales para las plantas los siguientes elementos: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, B, Cu, Mn y Mo.

Cuando la concentración de uno de estos elementos alcanza niveles altos o bajos en planta, aparecen síntomas característicos en hojas tallos o frutos. Este desorden nutricional lo muestra la planta bien externa o internamente por medio de síntomas (Barceló *et al.*, 1980). Las deficiencias pueden producirse en los cultivos cuando la concentración de un elemento en el suelo o solución nutritiva es baja, o bien cuando el elemento se encuentre en desequilibrio con otros desarrollándose efectos antagónicos, de forma que la presencia de un elemento en una determinada concentración pueda impedir la absorción de otro.

La mayor incidencia de los desordenes nutricionales en la agricultura actual es debido a la introducción de nuevas técnicas como son los cultivos sin suelo y la fertirrigación. Por otro lado la intensificación de los cultivos que lleva inherente la repetitiva utilización del suelo, crea una mayor necesidad de nutrientes en el mismo, por lo que se limita la disponibilidad de dichos elementos.

La sintomatología visual es un auxiliar muy eficaz en el establecimiento del estado nutricional de las plantas. Algunas deficiencias son mas fáciles de reconocer que otras, lo síntomas visuales de carencias en algunos casos son tan específicos que bastan para caracterizar la alteración (como por ejemplo la clorosis férrica). En otros casos hay varias alteraciones que presentan síntomas parecidos por lo que el análisis visual no es fiable y se deben realizar otros procedimientos como análisis foliares, y así confirmar el diagnóstico.

A continuación se citan algunos elementos y sus principales síntomas de carencia, así como otras alteraciones fisiológicas producidas a raíz de la compleja fitotecnia empleada en el cultivo de tomate.

→ Nitrógeno:

Este elemento se encuentra en la planta principalmente en forma orgánica, interviniendo en todos los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal. Se encuentra en pequeñas cantidades generalmente en forma de nitrato, siendo un elemento muy móvil que una vez absorbido por las raíces es trasladado rápidamente a zonas de mayor actividad funcional de la planta. La carencia se manifiesta por una reducción del crecimiento, dando lugar a plantas pálidas y poco vigorosas con frutos que maduran prematuramente. El amarillamiento empieza por las hojas basales y posteriormente se generaliza a toda la planta.

→ Fósforo:

Se absorbe en cantidades inferiores a las de N, K, Ca y Mg aunque es un elemento importante para el metabolismo de la planta. Es indispensable en la fotosíntesis y formación de compuestos orgánicos interviniendo en procesos de respiración, transferencia de energía y diferenciación celular. Su deficiencia está inducida por la inmovilización del fósforo por elevado pH o por elevado contenido en caliza activa (en suelos) entre otros. La deficiencia se manifiesta por una coloración verde oscura inicialmente con tintes púrpuras más intensos en las nerviaciones del envés de la hoja. Cuando la deficiencia es acusada la coloración púrpura se torna en necrosis.

→ Potasio:

Actúa como activador de enzimas, transportador de azúcares y regulador de la actividad estomática. Igual que N y P es un elemento muy móvil en la planta. Calcio y magnesio presentan antagonismo con este elemento, reduciendo la absorción del mismo y pudiendo dar lugar a situaciones de deficiencia de potasio. Los síntomas iniciales de deficiencia aparecen en las hojas mas viejas con una clorosis en la periferia de los folíolos que destaca porque el resto se mantiene de color verde intenso. La clorosis se extiende

hacia el centro permaneciendo los nervios principales de color verde. Las hojas se muestran rizadas y abullonadas. El aspecto de la planta es alargada con escasa vegetación.

→ Calcio:

Tiene doble papel en los procesos fisiológicos de las plantas. Es componente de paredes y membranas celulares confiriéndoles rigidez. Por otro lado también actúa como cofactor de varios enzimas. Su movilidad en la planta es muy baja. Su deficiencia es común en suelos ácidos y suele ir asociada con niveles tóxicos de manganeso y aluminio. La deficiencia se manifiesta en tallos y hojas jóvenes, que presentan clorosis desde el centro de los folíolos hacia los bordes en los que aparece una coloración morada y formas de gancho. En estados mas avanzados los ápices de tallos y hojas se necrosan y mueren. Los frutos son escasos, pequeños y todos ellos con podredumbre apical.

→ Magnesio:

Es un elemento constituyente de la clorofila y actúa en el metabolismo vegetal como activador de enzimas. Presenta antagonismo con varios elementos, principalmente con calcio y potasio. Su deficiencia es fácil de ver aunque no llega a ser crítica, observándose inicialmente en las hojas mas viejas ya que es un elemento móvil. Aparece clorosis internervial desde el centro de las hojas hacia los bordes. En estados de carencia severa las hojas son amarillas con el nervio central de color verde claro.

→ Azufre:

Es el elemento que como constituyente de proteínas forma parte de los aminoácidos azufrados. También forma parte de vitaminas y del coenzima-A, compuestos esenciales para el metabolismo de las plantas. Es un elemento poco móvil por lo que su deficiencia se manifiesta inicialmente en las hojas más jóvenes. En cultivos comerciales esta deficiencia es de baja incidencia. En caso de producirse las hojas jóvenes presentan clorosis internervial permaneciendo los ápices de color verde claro. Aparece necrosis en forma de moteado simétricamente a ambos lados del nervio central en las hojas cercanas a la copa. Los frutos son pequeños y los sépalos son rígidos y necrosados en las puntas.

→ **Hierro:**

Es un constituyente de numerosos compuestos esenciales en el metabolismo de las plantas. Interviene en todas las reacciones en las que se den procesos de oxidoreducción (respiración, fotosíntesis, reducción de nitratos). También actúa en la formación de clorofila y en el metabolismo de las proteínas. Su deficiencia conocida como clorosis férrica es fácil de reconocer y suele ser inducida resultado de una mala asimilación debida a otros factores. Inicialmente se presenta una coloración pálida en las hojas terminales, que progresa a clorosis internervial. Se extiende desde la base de los folíolos, destacando los nervios que permanecen verdes, incluso las nerviaduras secundarias, dando un aspecto de retícula verde sobre fondo amarillo. Posteriormente la clorosis se extiende por todo el limbo de la hoja. Nunca aparece necrosis.

→ **Otras alteraciones fisiológicas**

- **Asfixia radicular:** Frecuente en suelos pesados o en irrigaciones debido a la proximidad del gotero y salida del agua. El exceso de agua provoca una afuncionalidad en el sistema radicular que se manifiesta en una podredumbre blanda de las raíces y ennegrecimiento del sistema vascular, que impide la absorción de nutrientes. Las plantas se quedan raquílicas y se marchitan, terminando por morir. Esta anomalía puede ser confundida con la actuación de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicislycopersici*.
- **Alteraciones de tallos:** La podredumbre interna del tallo se suele manifestar por un apaisamiento irregular de éste en la parte superior. El síntoma mas característico es la necrosis medular, de un intenso color marrón, y al final la desaparición del tejido que deja el tallo hueco. Este síndrome se asocia con el exceso de abono nitrogenado y falta de asimilación por parte de la planta durante los meses fríos y co días de corta duración y baja luminosidad. Hay diferencias en la sensibilidad varietal, pero las mejoras climáticas suele permitir que la planta afectada se comporte como normal.
- **Salinidad:** Hay dos tipos de síntomas relacionados con los excesos de sal, representada esencialmente por cloruro sódico. En ambientes mediterráneos o plantaciones con agua de aja calidad, se producen amarillamientos generalizados en las copas de las plantas.

En las hojas amarillean los limbos quedando los nervios de color verde intenso. El crecimiento se detiene de manera ostensible. El segundo grupo de síntomas se produce en suelos salinos, por utilización de aguas cargadas de sales o falta de labores. El sistema vascular se oscurece hasta ennegrecerse. La planta amarillea, detiene su crecimiento y vegeta casi sin producir. Si la salinidad es aguda la necrosis vascular se acompaña de otra epidérmica hasta 40 cm por encima del suelo.

- **Alternaciones y accidentes del follaje:** En ambientes mediterráneos, durante períodos fríos y de baja luminosidad el envés de las hojas adquiere un color púrpura que denuncia la deficiencia de fósforo, bien por verdadera deficiencia o por bloqueo del mecanismo de asimilación. Se pueden presentar diferentes síntomas como son: enrollado fisiológico, intumescencias, plateados o relámpagos.
- **Alteraciones de los frutos:** El Golpe de sol ocurre al final del crecimiento del fruto cuando este se expone a los rayos directos del sol después de un desarrollo sombreado. Abundantes riegos o lluvias dan lugar a la aparición del Rajado de los frutos cuando están en pleno crecimiento. Las Deformaciones del fruto pueden estar causadas tanto por el abuso de hormonas para favorecer la fecundación como por herbicidas. Una elevada humedad ambiental produce agregación de polen sobre algunas flores quedando otras sin fecundar. Los frutos quedan pequeños y aplastados, lo cual se conoce como Agalletado. Las Pústulas son un defecto genético de la planta, que se manifiesta mediante manchas de color crema con aspecto pustuloso. Aunque no se conoce el origen otra alteración conocida como Necrosis interna produce un corte transversal en el fruto que deja ver el tejido vascular. Existen muchas alteraciones o anomalías del fruto del tomate aunque todas ellas no son más que respuestas a las modificaciones de los aspectos agronómicos del cultivo.

BIBLIOGRAFIA

- Barceló, J; Nicolás, G; Sabater, B; Sánchez, R. (1980). *Fisiología vegetal*. Ed. Pirámide, S.A. Madrid.
- Jordá, C.; Arias, M.; Tello, J.; Lacasa, A.; Del Moral, J. (1998). *La Sanidad del Tomate: Fisiopatías, plagas, enfermedades, malas hierbas y su relación en el agrosistema*. Ed. Phytoma-España. Valencia.

ANEXO III

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

A) Producción en Barasoain

→ Producción Comercial

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for prodcomercial	,113	50	,139	,969	50	,210

a. Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32,570	6	5,428	2,457	,039
Within Groups	94,986	43	2,209		
Total	127,556	49			

Post Hoc Tests Snk

sustrato	N	Subset for alpha = .05
		1
fds 0% granulado	8	14,0072
coco	8	14,2940
Fib + kymene	8	14,8114
fibrallur	2	15,2850
fds + kymene	8	15,8353
perlita	8	15,8819
fib 0% granulado	8	16,1032
Sig.		,241

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,600.

b. The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

→ Frutos Comerciales

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for frutocomercial	,069	50	,200(*)	,989	50	,909

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	228,770	6	38,128	1,748	,133
Within Groups	937,925	43	21,812		
Total	1166,695	49			

Post Hoc Tests SNK

sustrato	N	Subset for alpha = .05
		1
coco	8	52,86
fds 0% granulado	8	55,00
Fib + kymene	8	56,44
fibralur	2	56,50
fds + kymene	8	57,41
perlita	8	57,46
fib 0% granulado	8	59,87
Sig.		,181

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,600.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

→ Producción no Comercial

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for prodnocomercial	,095	50	,200(*)	,948	50	,028

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,032	6	,172	1,503	,200
Within Groups	4,920	43	,114		
Total	5,952	49			

POST HOC TEST SNK

sustrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	
perlita	8	,6051	
fds 0% granulado	8	,6333	
fds + kymene	8	,6348	
fib 0% granulado	8	,6919	
Fib + kymene	8	,8935	
fibrallur	2	,9463	
coco	8	,9682	
Sig.		,558	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,600.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

→ Frutos no Comerciales**NORMALIDAD**

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for frutnocomercial	,079	50	,200(*)	,992	50	,975

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	40,405	6	6,734	2,042	,081
Within Groups	141,830	43	3,298		
Total	182,235	49			

Post Hoc Tests SNK

sustrato	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
perlita	8	3,75	
fds + kymene	8	4,12	
fds 0% granulado	8	4,17	
coco	8	4,60	4,60
fib 0% granulado	8	5,24	5,24
Fib + kymene	8	5,83	5,83
fibrallur	2		7,49
Sig.		,403	,051

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 5,600.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

B) Producción en Sartaguda**→ Producción Comercial****NORMALIDAD**

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for prodcomercial	,074	56	,200(*)	,980	56	,468

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	24,643	6	4,107	1,293	,278
Within Groups	155,650	49	3,177		
Total	180,294	55			

Pos Hoc Snk

sustrato	N	Subset for alpha = .05
		1
fibratur	8	15,4200
coco	8	15,4850
Fib + kymene	8	15,7813
fds + kymene	8	15,7925
fib 0% granulado	8	16,0438
fds 0% granulado	8	16,7063
perlita	8	17,3938
Sig.		,307

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

→ Frutos Comerciales**NORMALIDAD**

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for frutocomercial	,073	56	,200(*)	,984	56	,658

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	374,789	6	62,465	1,086	,384
Within Groups	2817,140	49	57,493		
Total	3191,929	55			

Post Hoc Tests SNK

sustrato	N	Subset for alpha = .05
		1
fds + kymene	8	53,5500
Fib + kymene	8	53,8000
fib 0% granulado	8	55,1500
fibrallur	8	55,5000
fds 0% granulado	8	58,4000
coco	8	58,5500
perlita	8	61,0000
Sig.		,449

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

→ Producción no Comercial

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for prodnocomercial	,129	56	,021	,962	56	,077

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,582	6	,097	,289	,939
Within Groups	16,437	49	,335		
Total	17,019	55			

Post Hoc Tests SNK

sustrato	N	Subset for alpha = .05
		1
perlita	8	,8763
fds + kymene	8	,8900
fds 0% granulado	8	,9163
fibrilur	8	1,0200
fib 0% granulado	8	1,0238
Fib + kymene	8	1,0438
coco	8	1,1888
Sig.		,931

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

→ Frutos no Comerciales**NORMALIDAD**

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for frutonocomercial	,096	56	,200(*)	,960	56	,063

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	66,257	6	11,043	1,003	,434
Within Groups	539,340	49	11,007		
Total	605,597	55			

Post Hoc Tests SNK

sustrato	N	Subset for alpha = .05
		1
perlita	8	4,4500
fds 0% granulado	8	4,6500
Fib + kymene	8	4,7500
fds + kymene	8	5,6000
fib 0% granulado	8	6,1000
coco	8	7,0500
fibrallur	8	7,3500
Sig.		,588

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 8,000.

C) Calidad en Barasoain

→ **Acidez****NORMALIDAD**

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for ACIDEZ	,103	26	,200(*)	,973	26	,695

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7,714	6	1,286	2,613	,051
Within Groups	9,348	19	,492		
Total	17,062	25			

Post Hoc Tests SNK

SUSTRATO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
fibrallur	2	3,4944	
fib 0% granulado	4	4,2064	4,2064
fds 0% granulado	4	4,2576	4,2576
perlita	4	4,7840	4,7840
fib + kymene	4	4,9952	4,9952
coco	4		5,1952
fds + kymene	4		5,3504
Sig.		,071	,302

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,500.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

→ pH

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for PH	,186	26	,021	,921	26	,047

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,032	6	,005	1,769	,160
Within Groups	,058	19	,003		
Total	,090	25			

Post Hoc Tests SNK

SUSTRATO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
fib + kymene	4	3,9750	
coco	4	3,9750	
perlita	4	3,9750	
fds + kymene	4	4,0000	
fib 0% granulado	4	4,0250	
fds 0% granulado	4	4,0250	
fibrallur	2	4,1000	
Sig.		,086	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,500.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

→°Brix

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for BRIX	,121	26	,200(*)	,954	26	,290

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,216	6	,203	,541	,770
Within Groups	7,115	19	,374		
Total	8,331	25			

Post Hoc Tests SNK

SUSTRATO	N	Subset for alpha = .05
		1
fibratur	2	4,2500
perlita	4	4,8750
coco	4	4,9000
fib 0% granulado	4	4,9750
fds 0% granulado	4	4,9750
fib + kymene	4	5,0000
fds + kymene	4	5,1750
Sig.		,446

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,500.

b The group sizes are unequal. The harmonic mean of the group sizes is used. Type I error levels are not guaranteed.

D) Calidad en Sartaguda

→ Acidez

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for ACIDEZ	,130	28	,200(*)	,950	28	,203

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2,156	6	,359	,545	,768
Within Groups	13,835	21	,659		
Total	15,990	27			

Post Hoc Tests SNK

Subset for alpha = .05		
SUSTRATO	N	
		1
fds + kymene	4	4,3360
fds 0% granulado	4	4,4416
fib + kymene	4	4,6992
fibrallur	4	4,7328
fib 0% granulado	4	4,8800
coco	4	5,0992
perlita	4	5,1120
Sig.		,820

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

→ pH

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for PH	,143	28	,150	,955	28	,260

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,050	6	,008	,365	,893
Within Groups	,480	21	,023		
Total	,530	27			

Post Hoc Tests SNK

SUSTRATO	N	Subset for alpha = .05
		1
fib 0% granulado	4	4,0000
fds 0% granulado	4	4,0250
fibrallur	4	4,0250
perlita	4	4,0250
fds + kymene	4	4,0500
fib + kymene	4	4,1000
coco	4	4,1250
Sig.		,898

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

→ °Brix

NORMALIDAD

	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for BRIX	,077	28	,200(*)	,994	28	1,000

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1,777	6	,296	1,812	,145
Within Groups	3,433	21	,163		
Total	5,210	27			

Post Hoc Tests SNK

SUSTRATO	N	Subset for alpha = .05
		1
fib + kymene	4	4,4000
fib 0% granulado	4	4,8250
fibrallur	4	4,8500
fds 0% granulado	4	4,9000
fds + kymene	4	4,9750
perlita	4	5,1000
coco	4	5,2750
Sig.		,074

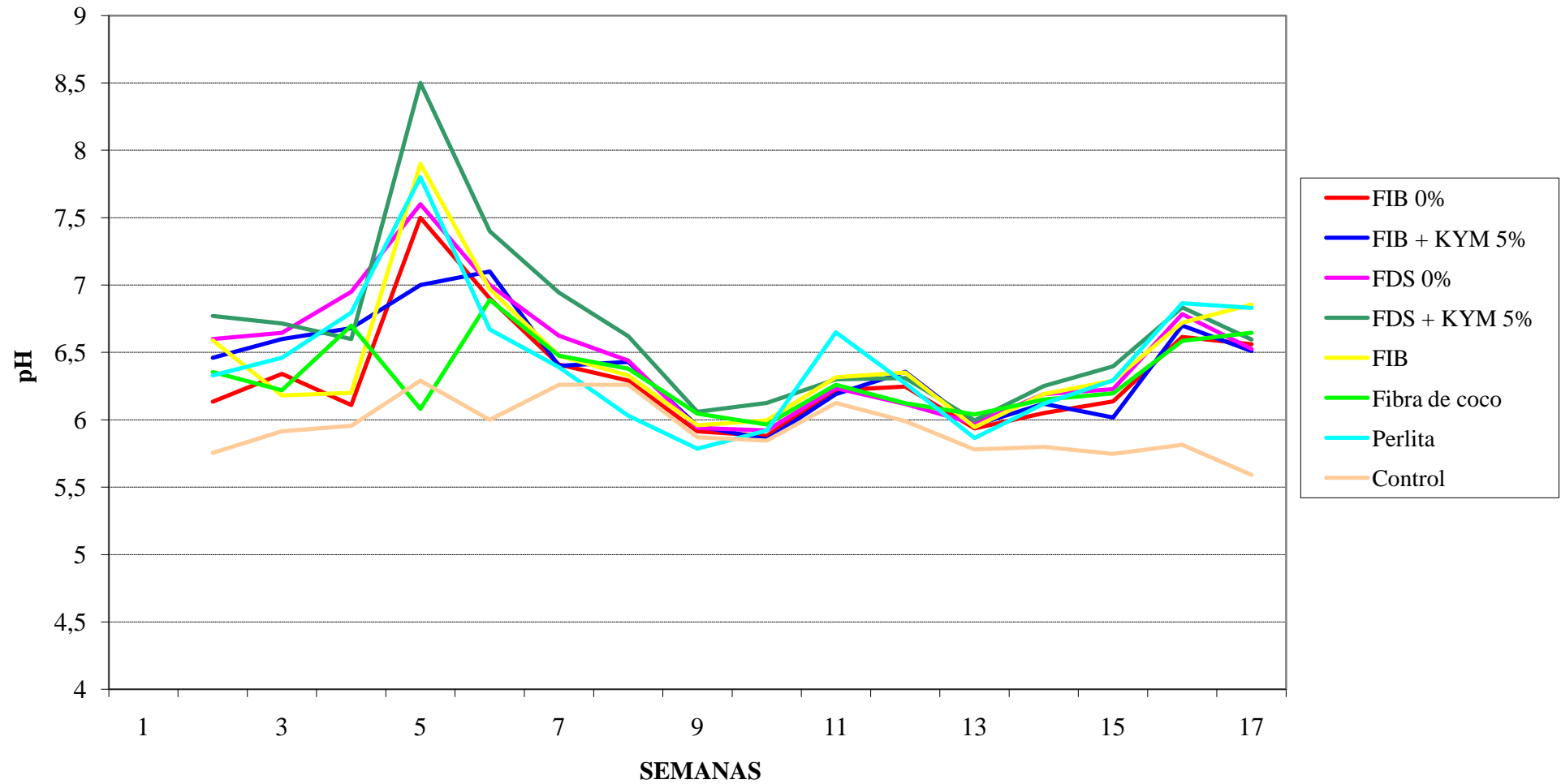
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a Uses Harmonic Mean Sample Size = 4,000.

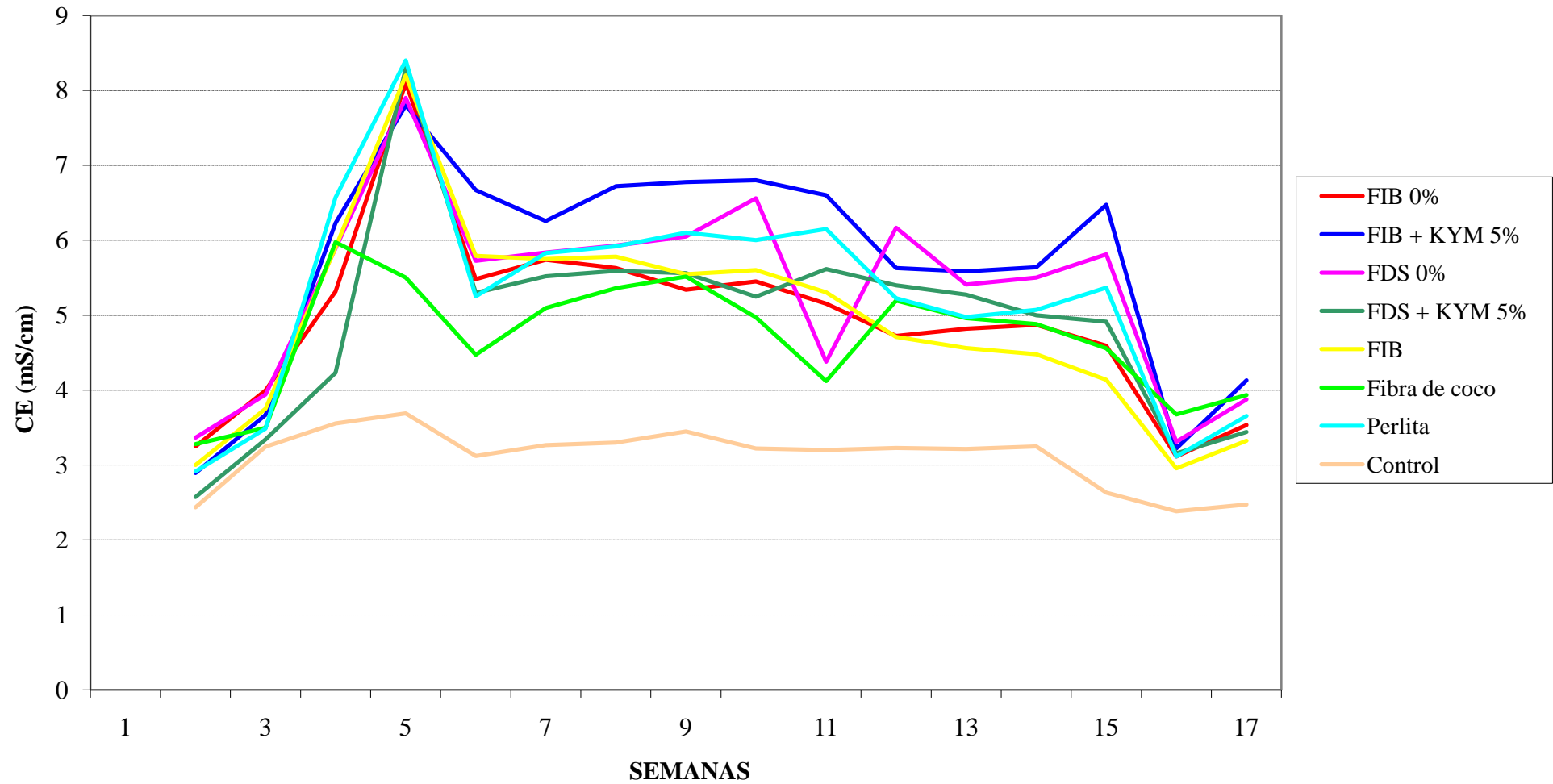
Barasoain	gotero*5	fib 0%	fib + kym 5%	fds 0%	fds + kym 5%	fibralur	coco	perlita
	litros	%	%	%	%	%	%	%
#####	30	80	13,33333	93,33333	86,66667	36,66667	56,66667	40
#####	7,5	66,66667	40	66,66667	93,33333	13,33333	26,66667	66,66667
#####	10	80	60	80	70	80	70	70
#####	40	40	30	45	42,5	30	30	40
#####	30	50	36,66667	50	50	30	26,66667	40
#####	35	65,71429	62,85714	57,14286	42,85714	57,14286	51,42857	42,85714
#####	15	40	26,66667	26,66667	40	40	26,66667	26,66667
#####	55	32,72727	29,09091	34,54545	34,54545	32,72727	23,63636	25,45455
#####	70	45,71429	45,71429	45,71429	45,71429	45,71429	45,71429	42,85714
#####	52,5	41,90476	34,28571	40	32,38095	38,09524	38,09524	26,66667
#####	35	42,85714	37,14286	48,57143	48,57143	42,85714	40	31,42857
#####	22,5	48,88889	35,55556	35,55556	48,88889	40	35,55556	35,55556
#####	92,5	34,59459	34,59459	34,59459	34,59459	34,59459	34,59459	34,59459
#####	35	51,42857	45,71429	51,42857	54,28571	51,42857	40	31,42857
#####	45	55,55556	48,88889	48,88889	48,88889	54,44444	44,44444	35,55556
#####	47,5	50,52632	50,52632	50,52632	52,63158	50,52632	42,10526	29,47368
#####	85	40	40	40	40	40	40	37,64706
#####	50	52	52	52	48	50	18	24
#####	60	56,66667	46,66667	43,33333	40	41,66667	6,66667	18,33333
#####	55	60	54,54545	56,36364	56,36364	50,90909	52,72727	30,90909
#####	50	44	60	58	62	56	56	32
#####	57,5	59,13043	59,13043	59,13043	59,13043	40	52,17391	34,78261
#####	40	60	65	67,5	50	60	60	50
#####	65	50,76923	53,84615	53,84615	41,53846	49,23077	49,23077	43,07692

Sartaguda	gotero*4 litros	fib + kym		fds + kym		fibralur %	coco %	perlita %
		fib 0% %	5% %	fds 0% %	5% %			
02/03/2009	7,20	69,44444	66,66667	69,44444	69,44444	69,44444	69,44444	77,77778
06/03/2009	11,20	51,78571	44,64286	78,57143	51,78571	49,10714	49,10714	53,57143
09/03/2009	11,80	33,89831	27,11864	33,89831	38,13559	33,89831	35,59322	35,59322
13/03/2009	24,00	35,83333	29,16667	37,5	37,5	35,41667	35,41667	42,5
20/03/2009	6,80	19,11765	7,352941	14,70588	16,17647	17,64706	16,17647	18,38235
27/03/2009	13,20	1,515152	1,515152	6,818182	4,545455	6,060606	8,333333	6,060606
30/03/2009	27,20	35,29412	34,55882	36,76471	36,76471	36,76471	31,61765	38,60294
02/04/2009	16,00	55	39,375	56,875	55	56,25	56,25	54,375
06/04/2009	46,00	22,6087	15,65217	21,73913	19,56522	23,91304	23,47826	20,43478
08/04/2009	11,20	35,71429	28,57143	33,92857	28,57143	35,71429	35,71429	31,25
14/04/2009	56,00	33,92857	25	30,71429	29,28571	33,92857	33,92857	30,35714
20/04/2009	32,00	33,75	18,75	21,875	22,5	34,375	29,6875	26,5625
23/04/2009	48,00	31,25	21,875	25	21,875	31,25	29,16667	25
27/04/2009	24,00	32,5	21,66667	29,16667	26,25	33,33333	30	29,16667
30/04/2009	28,00	21,42857	10,71429	14,28571	17,14286	24,28571	21,42857	14,64286
04/05/2009	44,00	20,45455	9,090909	16,81818	11,36364	20,45455	20,45455	9,090909
07/05/2009	33,20	21,38554	7,53012	18,07229	12,6506	18,07229	21,08434	9,638554
11/05/2009	36,00	36,11111	25	28,61111	25	35,55556	28,33333	28,33333
13/05/2009	24,00	37,5	25	33,33333	35,41667	37,5	35,41667	31,25
14/05/2009	10,40	33,65385	28,84615	28,84615	28,84615	33,65385	28,84615	34,61538
16/05/2009	36,00	56,94444	50,55556	52,77778	27,77778	58,33333	55,55556	54,16667
18/05/2009	60,80	55,92105	47,69737	51,80921	5,756579	55,92105	53,45395	49,67105
22/05/2009	27,20	47,79412	36,76471	36,76471	36,76471	51,47059	44,11765	40,44118
25/05/2009	104,00	19,90385	21,92308	23,55769	27,5	25	23,55769	0
01/06/2009	52,00	32,69231	19,23077	26,92308	30,76923	40,38462	33,65385	26,92308
03/06/2009	26,80	34,70149	14,92537	14,92537	22,38806	42,91045	31,71642	29,85075
05/06/2009	32,00	43,75	35,9375	37,5	40,625	50	39,0625	43,75
08/06/2009	53,60	55,97015	50,37313	51,86567	50,37313	57,83582	55,03731	55,97015
11/06/2009	60,00	51,66667	45	46,66667	46,33333	53,33333	48,33333	49
15/06/2009	56,00	42,85714	32,14286	34,82143	41,60714	46,42857	37,5	40,17857
19/06/2009	36,00	56,94444	48,61111	50	58,33333	58,33333	52,77778	55,55556

pH - Sartaguda



Conductividad Eléctrica (CE) - Sartaguda



mg/l presentes en los drenajes

SARTAGUDA	FIB 0%	FIB + KYM 5%	FDS 0%	FDS + KYM 5%	FIB	Fibra de coco
1	598,5	583,7	801,6	609,89	628,54	508,07
4	919,81	1536,53	1155,83	1230,65	1050,83	853,65
7	1152,66	1331,12	1195,14	1117,78	1135,83	851,41
10	957,2	1333,77	1233,17	913,67	997,83	711,51
13	803,4	884,19	1000,65	787,97	773,81	773,52
16	1076,64	1834,08	1631,01	1377,71	943,5	856,69

BARASOAIN	FIB 0%	FIB + KYM 5%	FDS 0%	FDS + KYM 5%	FIB	Fibra de coco
1	395,3	226,6	424,1	454,5	399,7	520,4
4	539,1	589,7	605,6	722,3	674,2	676,9
7	635	704,5	714,8	675,6	706,7	743,7
10	580,02	557,38	574,45	518,1	564,69	601,41
13	523,01	499,91	507,87	511,34	494,16	564,73
16	501,11	501,92	505,67	462,64	500,3	527,51

Perlita	Control
442,29	465,8
1125,14	477,39
1101,06	414,34
1111,96	444,3
802,71	491,78
1414,58	481,33

Perlita	Control
532,1	290,7
557,3	321,6
696,9	379,9
597,81	386,34
538,15	316,34
526,16	336,11

BARASOAIN	Producción total (Kg/m2)	Producción comercial (kg/m2)	Producción no c
FIB 0%	16,795	16,103179	95,88%
FIB + KYM 5%	15,705	14,811368	94,31%
FDS 0%	14,640	14,007156	95,67%
FDS + KYM 5%	16,470	15,835251	96,15%
FIB	16,231	15,28495	94,17%
Fibra de coco	15,262	14,2939695	93,66%
Perlita	16,487	15,881903	96,33%

SARTAGUDA	Producción total (Kg/m2)	Producción comercial (kg/m2)	Producción no c
FIB 0%	17,06665	16,04445	0,94010541
FIB + KYM 5%	16,8253	15,78115	0,937941671
FDS 0%	17,6235	16,7058	0,947927483
FDS + KYM 5%	16,6819	15,79165	0,946633777
FIB	16,43795	15,4178	0,937939342
Fibra de coco	16,6728	15,48475	0,928743222
Perlita	18,26855	17,39375	0,952114426

perlita	8	3,75	
fad + kymene	8	4,12	
fad 0% granulado	8	4,17	
coco	8	4,6	4,6
fib 0% granulado	8	5,24	5,24
Fib + kymene	8	5,83	5,83
fibralur	2		7,49
Sig.		0,403	0,051

comercial (kg/m2)	Número de frutos/m2
4,12%	65,110
5,69%	62,274
4,33%	59,171
3,85%	61,525
5,83%	63,986
6,34%	57,459
3,67%	61,204

comercial (kg/m2)	Número de frutos/m2
0,05989459	61,25
0,062058329	58,55
0,052072517	63,05
0,053366223	59,15
0,062060658	62,85
0,071256778	65,6
0,047885574	65,45